

DISEÑO Y CONTROL DE UNA ROTOMOLDEADORA

FREDY MIGUEL ABRIL CORREA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE MECATRÓNICA
PEREIRA
2013

DISEÑO Y CONTROL DE UNA ROTOMOLDEADORA

FREDY MIGUEL ABRIL CORREA

Trabajo de anteproyecto para optar a título de Ingeniero en Mecatrónica

Director
Ing. Eduardo Giraldo

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE MECATRÓNICA
PEREIRA
2013

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Pereira, Abril de 2014

Dedicatoria

Dedico este trabajo de grado para optar al título de ingeniero en mecatrónica a mi madre, a quien debo el amor a la academia y el deseo constante de querer superarme como estudiante y como persona, hoy que avanzo en un paso más recuerdo que aun sin estar presente ella de alguna manera estuvo conmigo en cada paso que daba, a ella y a su recuerdo y al cariño incondicional que me brindo dedico este esfuerzo, esta meta cumplida.

Agradecimientos

Primero que a cualquier persona agradezco a Dios por la bendición de terminar un ciclo más en mi vida por darme el logro de adquirir nuevos conocimientos y tener la capacidad de aplicarlos, así mismo de crecer como profesional y persona.

Gracias a mis hermanas Etna Yeniffer Abril Correa, Andrea Milena Abril Correa y Zulma Ibeth Abril Correa, quienes a pesar de la distancia siempre me han apoyado en mí camino a ser un profesional.

Agradezco también a mi papa Carlos Alberto Laspirilla quien siempre me ha apoyado, y ha brindado lo mejor de su humanidad para darme un soporte familiar al cual acudir en tiempos de tensión, a él agradezco los cuidados y consejos recibidos, por lo inmenso de su corazón conozco lo grande que es el ser humano y la gran capacidad que tiene de brindar amor y fraternidad sin esperar nada más que el bien para otros.

Gracias a mis docentes que más que con academia me han enriquecido con talento humano, a mis maestros a ellos gracias por mostrar el camino, por ser un faro en este universo de la ingeniería, por estar hay, por exigir, por esperar más, por dar más, por ser más que profesionales y entregar de su riqueza más allá de las aulas, en mi vida.

Un agradecimiento con un alto sentido de fraternidad a mi director de proyecto el ingeniero Eduardo Giraldo, por ser el guía y tutor de este proyecto por señalarme la dirección adecuada esperando que llegara a cumplir el objetivo de convertirme en un profesional.

También a el postulado a obtener el título de magister en Ingeniería el Ingeniero Alber Andres Posada Ochoa de la universidad nacional por sus asesorías en el manejo avanzado de Solidworks®.

A mis amigos y compañeros también a ellos gracias por permitirme conquistar las grandezas del conocimiento juntamente con ellos, por permitirme tomar de su experiencia y volverla propia, obteniéndola como una herramienta de gran utilidad en mi vida.

A todo el equipo de trabajo de la dirección del programa de mecatrónica de la Universidad Tecnológica de Pereira no tengo más que decir que un inmenso gracias y aun así reconozco que es poco, gracias por su apoyo constante durante estos 5 años que ha durado esta aventura, gracias por su compromiso con los estudiantes, gracias por la ardua labor que diariamente sostiene este programa a ustedes gracias por darme el compromiso con la excelencia.

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	6
TABLA DE FIGURAS.....	7
LISTADO DE TABLAS.....	9
LISTADO DE PLANOS.....	9
LISTADO DE JUNTAS	12
INTRODUCCIÓN.....	13
1. HISTORIA	15
2. REFERENCIAS Y CONFIGURACIONES.....	16
2.1. MARCO REFERENCIAL	16
2.2 MARCO CONTEXTUAL	16
2.3 MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL	17
2.4. CONFIGURACIONES.....	21
3. PROCESO	25
3.1. APLICACIONES DEL PROCESO DE ROTOMOLDEO	26
3.2. MATERIALES PARA EL ROTOMOLDEO	29
3.3. CARACTERÍSTICAS DE PRODUCCIÓN.....	31
3.3.1. MOLINO	32
3.3.2. MOLDE	32
3.3.3. HORNOS	32
3.3.4. CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES PARA ROTOMOLDEO	33
3.4. FORMA Y DISEÑO DEL PRODUCTO.....	35
4. ANTECEDENTES.....	36
4.1. ANÁLISIS COMPARATIVO DE ANTECEDENTES	36
4.2. NORMAS Y CRITERIOS.....	37
4.3. TIPO DE ELEMENTO FINITO UTILIZADO PARA LA MODELACIÓN	37
5. MÉTODO DE SOLUCIÓN	38
5.1. MÉTODO O ESTRUCTURA DE LA UNIDAD DE ANÁLISIS	39
5.2. CRITERIOS DE VALIDEZ.....	41
5.2.1. VALIDEZ INTERNA	41
5.2.2. VALIDEZ EXTERNA	45

5.2. MODELO DE TEMPERATURA.....	45
5.3. MODELO DE INDUCCIÓN DEL MOTOR.....	48
5.4. MODELO DE CONTROL	51
5.4. DESACOPLAMIENTO LINEAL PARCIAL	53
6. RESULTADOS Y CONCLUSIONES	54
6.1. CONFIABILIDAD	54
6.1.1. RESPUESTAS DE LA PLANTA.....	54
6.1.2. SIMULACIÓN DE ESFUERZOS.....	56
6.2. DISCUSIÓN.....	59
6.3. CONCLUSIÓN	61
6.4. RECOMENDACIONES.....	62
6.5. TRABAJOS FUTUROS.....	63
7. BIBLIOGRAFÍA.....	64
8. ANEXOS.....	66
8.1 LIBRO DE PLANOS	79
8.2. LIBRO DE JUNTAS.....	183

TABLA DE FIGURAS

FIGURA 1: proceso rotomoldeo.	17
FIGURA 2: Pieza por rotomoldeo.....	18
FIGURA 3: Motor.....	19
FIGURA 4 : Microcontrolador.	20
FIGURA 5: Resistencia para calefacción.	20
FIGURA 6: Clasificación tipología de máquina.....	21
Figura 7: Rotomoldeo por flama abierta.	22
Figura 8: Rotomoldeo por horno desplazamiento lineal.	22
Figura 9: Rotomoldeo por giro basculante.....	23
Figura 10: Rotomoldeo por estación simple.	23
Figura 11: Brazo 3 estaciones.....	24
Figura 12: Brazo 4 estaciones.....	24
Figura 13: Brazo 5 estaciones.....	25
Figura 14: aplicaciones rotomoldeo.....	28
Figura 15: maquina artesanal.....	37
Figura 16: Tipo de elemento finito usado para la modelación.	38
Figura 17: diagrama electrónico PWM - simulación 'PROTEUS'.	39

Figura 18: diagrama electrónico variador de temperatura - simulación 'PROTEUS'.	40
Figura 19: imagen renderizada chasis principal.	41
Figura 20: Mapeo cableado operación con arduino	42
Figura 21: Esquemático alimentación	43
Figura 22: Etapa de potencia Motor y Resistencia	43
Figura 23: Temperatura.	46
Figura 24: Modelo del motor de inducción.	49
Figura 25: Diagrama de potencias del modelo del motor de inducción.	50
FIGURA 26: Diagrama de bloques control en desacople.	52
FIGURA 27: configuración control en desacople.	52
FIGURA 28: Matriz de desacople	52
FIGURA 29: Configuración desacople parcial	53
FIGURA 30: Grafica planta temperatura.	54
FIGURA 31: Grafica planta motor.	55
Figura 32: Curva fuerza de torsión a 40 RPM.	56
Figura 33: definición de las fuerzas a un ensamble giro en el eje X a 40 RPM.	56
Figura 34: definición de las fuerzas a un ensamble giro en el eje Y a 40 RPM.	57
Figura 35: definición de las fuerzas a chasis principal a 40 RPM.	57
Figura 36: definición de las fuerzas a ensamble eje giro a 40 RPM.	58
Figura 37: definición de las fuerzas a eje principal a 40 RPM.	58
FIGURA 38: Diseño PID	59
FIGURA 39: Diseño control en desacople.	59
FIGURA 40: Diagrama de bloques en simulink®.	60
FIGURA 41: Respuesta del sistema de temperatura con el controlador.	60
FIGURA 42: Respuesta del sistema del motor con el controlador.	61
Figura 43: Simulación de análisis de tensión estructura rotación en eje X, con escala de deformación de 26,2874	66
Figura 44: Simulación de análisis de tensión estructura rotación en eje Y, con escala de deformación de 26,2874.	66
Figura 45: Simulación de análisis de tensión chasis principal escala de deformidad 1.	67
Figura 46: Simulación de análisis de tensión ensamble eje giro escala de deformidad 1.	67
Figura 47: Simulación de análisis de tensión eje principal escala de deformidad 1.	68
Figura 48: Simulación de análisis de desplazamiento estructura rotación en eje X, con escala de deformación de 26,2874.	68
Figura 49: Simulación de análisis de desplazamiento estructura rotación en eje Y, con escala de deformación de 26,2874.	69
Figura 50: Simulación de análisis de desplazamiento chasis principal escala de deformidad 1.	69
Figura 51: Simulación de análisis de desplazamiento ensamble eje giro escala de deformidad 1.	70
Figura 52: Simulación de análisis de desplazamiento ensamble eje principal escala de deformidad 1.	70

Figura 53: Simulación de análisis de factor de seguridad estructura rotación en eje X.	70
Figura 54: Simulación de análisis de factor de seguridad estructura rotación en eje Y.	71
Figura 55: Simulación de análisis de factor de seguridad chasis principal.	72
Figura 56: Simulación de análisis de factor de seguridad ensamble eje giro.	72
Figura 57: Simulación de análisis de factor de seguridad eje principal.	73
Figura 58: Formación de nodos en la estructura rotación en eje X.	73
Figura 59: Formación de nodos en la estructura rotación en eje Y.	74
Figura 60: Formación de nodos chasis principal.	74
Figura 61: Formación de nodos ensamble eje giro.	75
Figura 62: Formación de nodos eje principal.	75
Figura 63: Diagrama de bloques estructura principales en MATLAB.	76
Figura 64: Diagrama de bloques y simulación en MATLAB (SIMULINK).	76
Figura 65: Simulación en MATLAB (SIMULINK).	77
Figura 66: Rotomoldeadora renderizada.	78

LISTADO DE TABLAS

TABLA 1: MATERIALES PARA ROTOMOLDEO.	30
TABLA 2: CLASIFICACIÓN POR MP.	31

LISTADO DE PLANOS

Plano 1: Estructura base giro en eje X.	79
Plano 2: Tubo estructural base giro en eje X.	80
Plano 3: Tubo estructural base giro en eje X.	81
Plano 4: Tubo estructural base giro en eje X.	81
Plano 5: Tubo estructural base giro en eje X.	83
Plano 6: Cojinete acople entre estructuras.	84
Plano 7: Rodamiento en agujas.	85
Plano 8: Varilla guía entre estructuras de giro.	86
Plano 9: Refuerzo esquina.	87
Plano 10: Estructura base giro en eje Y.	88
Plano 11: Tubo estructural base giro en eje Y.	89
Plano 12: Tubo estructural base giro en eje Y.	90
Plano 13: Tubo estructural base giro en eje Y.	91
Plano 14: Varilla 2 guía entre estructuras de giro.	92

Plano 15: Acople engranaje.	93
Plano 16: Refuerzo acople.	94
Plano 17: Estructura giro eje X.	95
Plano 18: Ancla de sujeción.	96
Plano 19: Contra-peso.	97
Plano 20: Ensamble principal.	98
Plano 21: Chasis principal.	99
Plano 22: Complemento 1 chasis principal.	100
Plano 23: Complemento 2 chasis principal.	101
Plano 24: Ensamble base chais.	102
Plano 25: Base chais.	103
Plano 26: Soporte latera resistencia.	104
Plano 27: Soporte centro resistencia.	105
Plano 28: Modelo resistencia térmica.	106
Plano 29: Chumacera lado izquierdo.	106
Plano 30: Estructura Chumacera lado izquierdo.	108
Plano 31: Refuerzo Chumacera lado izquierdo.	109
Plano 32: Chumacera lado derecho.	110
Plano 33: Estructura chumacera lado derecho.	111
Plano 34: Refuerzo Chumacera lado derecho.	112
Plano 35: Piñón de cadena estático.	113
Plano 36: Eje principal.	114
Plano 37: Ensamble transmisión de giro.	115
Plano 38: Soporte inferior ensamble giro.	116
Plano 39: Soporte superior ensamble giro.	117
Plano 40: Ensamble eje giro.	118
Plano 41: Alargue eje giro.	119
Plano 42: Piñón 45° ensamble giro.	120
Plano 43: Piñón de cadena ensamble giro.	121
Plano 44: Piñón 45° giro.	122
Plano 45: Lamina inferior.	123
Plano 46: Lamina lateral lado izquierdo.	124
Plano 47: Lamina lateral lado derecho.	125
Plano 48: Lamina complemento lado derecho.	126
Plano 49: Ensamble interfaz-motor.	127
Plano 50: Conjunto base motor.	128
Plano 51: Base superior motor.	129
Plano 52: Base inferior motor.	130
Plano 53: Sujeción motor lado izquierdo.	131
Plano 54: Sujeción motor lado derecho.	132
Plano 55: conjunto tuerca.	133
Plano 56: Tuerca sujeción motor.	134
Plano 57: Lamina tuerca sujeción motor.	135
Plano 58: Base interfaz.	136
Plano 59: Lamina trasera interfaz.	137
Plano 60: Lamina base acrílico.	138
Plano 61: Lamina complemento interfaz.	139

Plano 62: Lamina soporte circuito.	140
Plano 63: Acrílico interfaz.	141
Plano 64: Lamina trasera tapa motor.	142
Plano 65: Lamina superior tapa motor.	143
Plano 66: Ensamble estructuración externa.	144
Plano 67: Estructura rieles.	145
Plano 68: Platina base piso.	146
Plano 69: Angulo rieles.	147
Plano 70: Tope rieles posterior.	148
Plano 71: Tope rieles delanteros.	149
Plano 72: Ensamble soporte chasis.	150
Plano 73: Base soporte chasis.	151
Plano 74: Complemento base soporte chasis.	152
Plano 75: Soporte rueda.	153
Plano 76: Kit rueda.	154
Plano 77: Rueda.	155
Plano 78: Sujeción rueda.	156
Plano 79: Tornillo eje rueda.	157
Plano 80: Arandela kit rueda.	158
Plano 81: Tuerca kit rueda.	159
Plano 82: Kit arrastre.	160
Plano 83: Brazo kit arrastre.	161
Plano 84: Varilla 10mm kit arrastre.	162
Plano 85: Recubierta caucho kit arrastre.	163
Plano 86: Varilla 12.5mm kit arrastre.	164
Plano 87: Rodamiento Nylon kit arrastre.	165
Plano 88: Tope guía.	166
Plano 89: Sujeción brazo.	167
Plano 90: Ensamble caja protección.	168
Plano 91: Elemento estructural caja protección.	169
Plano 92: Elemento estructural lateral lado derecho caja protección.	170
Plano 93: Elemento estructural lateral lado izquierdo caja protección.	171
Plano 94: Lamina lateral lado izquierdo caja protección.	172
Plano 95: Lamina lateral lado derecho caja protección.	173
Plano 96: Lamina superior caja protección.	174
Plano 97: Lamina posterior caja protección.	175
Plano 98: Estructura puerta caja protección.	176
Plano 99: Lamina puerta caja protección.	177
Plano 100: Bisagra.	178
Plano 101: Bisagra tope.	179
Plano 102: Base bisagra tope.	180
Plano 103: Complemento abatible bisagra tope.	181
Plano 104: Cadena 39 pares de eslabones.	182

LISTADO DE JUNTAS

Junta 1: Tornillo M6X24 20x1, 25.....	183
Junta 2: Tornillo M8X50 20x1, 25.....	183
Junta 3: Tornillo M10X34 30x1, 25.....	184
Junta 4: Tornillo M8X45 39x1, 25.....	184
Junta 5: Tornillo M8X25 19x1, 25.....	185
Junta 6: Tuerca M15 8X1, 25.....	185
Junta 7: Tuerca M6 4X1, 25.....	186
Junta 8: Tuerca M8 6X1, 25.....	186
Junta 9: Arandela M6.....	187
Junta 10: Arandela M8.....	187

INTRODUCCIÓN

El uso de materiales livianos dentro de la industria está vinculado a una fuerte estrategia de negocio esto ya que a la hora de diligenciar una nueva negociación en cualquier industria a cualquier cliente, el acabado a los productos terminados tienen una relación directamente proporcional a la oportunidad de concretarlo, entre más calidad tenga el producto en su presentación final mayor será la ventaja competitiva de la industria manufacturera.

En el mercado convencional las piezas plásticas están de manera restringida a un estándar, normalmente para una nueva configuración dependiendo la necesidad se debe iniciar un desarrollo para lograrla.

En el mundo de la industria, la necesidad de usar piezas plásticas es cada vez mayor, esto es por las diferentes formas que este material permite y que en el producto final significa un peso y precio menor, en las pequeñas industrias la adquisición de este tipo de materia prima es a través de un proveedor externo ya que no se cuenta con la maquinaria adecuada para realizarlo de manera interna.

Si bien en la industria siempre habrá máquinas de desarrollo simple con una característica netamente mecánica que en cierto punto carece de brindar una alta calidad en el producto terminado, el desarrollo de control que interactúe directamente en el proceso es inevitable, si se quiere entregar al cliente una pieza que cuente con estándares de calidad esperados, para esto se debe tener la garantía de que el proceso una vez definido sea repetible, entregando así siempre el mismo producto con el mismo nivel de calidad, en otras palabras estandarizar tanto el producto como el proceso.

La mayoría de las industrias que requieren de piezas plásticas para su producto final deben pagar al proveedor para la fabricación de un molde si requieren de una nueva configuración para otra pieza o para cualquier cambio en los moldes de las piezas que ya son del uso normal de la misma aumentando el costo mismo del producto, en otros casos una empresa opta por fabricar sus piezas de acabado en otro material que no cumple con los beneficios que si ofrecería un polímero de baja densidad.

Para una pequeña y mediana empresa a sí mismo como a una microempresa que está creciendo, adquirir la capacidad para realizar los desarrollos de piezas plásticas en pequeños y medianos tamaños ofrece diferentes ventajas como reducción de costos en la fabricación de sus productos, disminución en los inventarios de ítems comerciales, controlar la calidad de sus piezas, implementación de una nueva área de producción, solución a sus acabados estéticos, aumenta la calidad de los detalles en terminado, disminución de tiempo, evita las diferentes dificultades de la logística de desarrollos y proveedores, aumenta el valor agregado a su negocio y una mejor capacidad competitiva entre otras.

En la mayoría de los procesos de fabricación que realice una determinada máquina en los que se requiere de un procedimiento que garantice un tiempo específico de operación y en la que se involucran variables físicas es mejor contar con un sistema de control en la operación propia de la máquina, mayormente en las industrias pequeñas es normal ver que no se cuenta con este tipo de sistemas y que la técnica de trabajo es de manera artesanal ya que la adquisición de una maquinaria que cuente con un control operativo es de un alto valor y sobrepasan sus presupuestos.

En la industria es de normalidad que los productos que son adquiridos por proveedores externos estén ligados a situaciones no controladas como la fabricación y transporte del mismo ya que la logística de este tipo de materia prima depende de terceros y no son propias de la industria cliente y deben afrontar retrasos en su propia producción cuando los consumos no están con la anterioridad necesaria para su ensamble.

Las máquinas para la fabricación de productos plásticos actuales son de un valor demasiado alto en nuestro país y son adquiridos normalmente por industrias que tienen este fin como negocio, proveedor a terceros.

Teniendo en cuenta lo anterior se propone diseñar una máquina de rotomoldeo (ROTOMOLDEADORA) con sistema de control y de fácil manipulación para la fabricación de productos plásticos de un tamaño mediano y pequeño que cuenten con un acabado y resistencia de calidad.

Algunas empresas tienen máquinas que operan con el mismo principio de rotomoldeo pero son de un tamaño considerable y tienen como función dar productos de un mayor tamaño teniendo en cuenta que, estas compañías que poseen este tipo de máquinas se encargan también de su comercialización en cuanto al producto fabricado se refiere.

En norte América y Europa se encuentran máquinas para la fabricación de piezas con el principio de rotomoldeo que cuentan con menor tamaño pero de difícil adquisición en Colombia por su elevado precio, pero que si pueden aplicar para compañías que requieren de este tipo de productos para su línea de producción o producto final.

La rotomoldeadora que se propone diseñar tiene un valor menor ya que sus elementos son de fácil adquisición y contara con un control simple y eficaz.

En la actualidad, la demanda tecnológica en cuanto a fabricación de este tipo de piezas es algo pobre y muy joven aun, dentro de las diferentes compañías que requieren de este tipo de productos como materia prima, lo cual es favorable para implementar la rotomoldeadora con la configuración, control y tamaño que se propone y cuyo propósito es dar abasto a las necesidades de una línea de ensamble o producto final, para que entre a ser parte de una línea más en la empresa en general, además de las normas técnicas se garantiza un funcionamiento seguro y un control estable en su manipulación.

1. HISTORIA

En 1855 R. Peters de Gran Bretaña documentó el primer uso de la rotación de dos ejes y calor. Este proceso de moldeo rotacional fue utilizado para crear proyectiles de artillería de metal y otros recipientes huecos. En 1905, en los Estados Unidos, FA Voelke utilizó este método para el moldeo de objetos de cera. Esto llevó a SG de Baker's y a GW Perks's a hacer huevos de chocolate huecos en 1910. El moldeo rotacional también fue utilizado por RJ Powell para el moldeo de yeso blanco en la década de 1920. Estos primeros métodos con distintos materiales direccionaron los avances en la forma en que se utilizan hoy en día el moldeo rotacional con los plásticos.

Los plásticos fueron introducidos en el proceso de moldeo rotacional en la década de 1950. Una de las primeras aplicaciones fue la fabricación de cabezas de muñecas. La maquinaria constaba de un horno con quemadores de gas y un motor eléctrico para el giro del molde. El molde estaba hecho de níquel-cobre electro-formado, y el plástico utilizado era un plastisol. El método de enfriamiento consistía en colocar el molde en agua fría. Este proceso de moldeo rotacional llevó a la creación de juguetes de plástico. Como la demanda y la popularidad de este proceso se incrementaron, fue utilizado para crear otros productos tales como conos de carretera, boyas marinas y apoyabrazos de coches. Esta popularidad llevó al desarrollo de las grandes máquinas. Un nuevo sistema de calefacción también se creó, al pasar de los quemadores de gas directos originales al actual sistema indirecto de alta velocidad del aire caliente. En Europa, durante la década de 1960 fue desarrollado el proceso de Engel. Esto permitió la creación de grandes recipientes huecos de polietileno de baja densidad. El método de enfriamiento consiste en apagar los quemadores, lo que permite que el plástico se endurezca sin dejar de mecarse en el molde.

En 1976 fue creada, en Chicago, la Association of Rotational Moulders (ARM) como una asociación comercial a nivel mundial. El objetivo principal de esta asociación es aumentar el conocimiento de la tecnología y el proceso del moldeo rotacional. En otras partes del mundo también se han creado asociaciones de rotomoldeo.

En la década de 1980, nuevos plásticos, como el policarbonato, el poliéster y el nylon, se introdujeron en moldeo rotacional. Esto ha dado lugar a nuevos usos para este proceso, tales como la creación de depósitos de combustible y molduras industriales. La investigación que se ha hecho desde finales de la década de 1980 en la Universidad Queen de Belfast ha llevado al desarrollo de un monitoreo más preciso y control de los procesos de refrigeración (basado en el desarrollo del "Rotolog sistem": Sistema de diagnóstico que proporcionan un medio en tiempo real de seguimiento y control del proceso de moldeo mediante la medición de temperaturas en el interior del molde).

2. REFERENCIAS Y CONFIGURACIONES

2.1. MARCO REFERENCIAL

Una rotomoldeadora puede tener varias configuraciones y principalmente posee un espacio donde un molde gira en dos ejes, la máquina está conformada por un motor AC una configuración mecánica aparte de sus componentes eléctricos y electrónicos, pueden tener un sistema de control así mismo como carecer del mismo y operar analógicamente de manera simplemente mecánica.

En este diseño se planteará con un sistema de control de velocidad y de temperatura para los casos en el que el material requiera de esta para ser procesado.

Se acondicionará un motor a un conjunto de engranajes y transmisiones que moverá de manera rotacional la configuración de este diseño, permitiendo que el espacio para ubicar el molde gire en los dos ejes permitiendo así tener la pieza con las características y la calidad propuestas.

La potencia de trabajo o torque lo dará el motor y las transmisiones realizarán el trabajo de generar un giro constante e igual en ejes diferentes estos deberán soportar la carga máxima establecida para la máquina y deberán tener un velocidad constante independientemente de los cambios de molde que significa en otras palabras cambios en peso, por esta razón sin importar el trabajo que deba realizarse en torque la velocidad deberá ser la misma.

La operación propia de la máquina como el tiempo de respuesta al recibir la orden de inicio, o cambio en temperatura y velocidad de igual manera la duración que debe permanecer en operación para diferentes tipos de moldes lo dará el controlador que se diseñará y adecuará para la rotomoldeadora.

Se implementara un sistema de seguridad para cuando la máquina esté en funcionamiento asegurando que nada haga interferencia con los ejes o sus celdas cuando estas estén en movimiento y que estará ligado a la lectura del sensor que verificara los cambios de velocidad.

Por último la máquina contará con una fácil y eficaz interface para su manipulación.

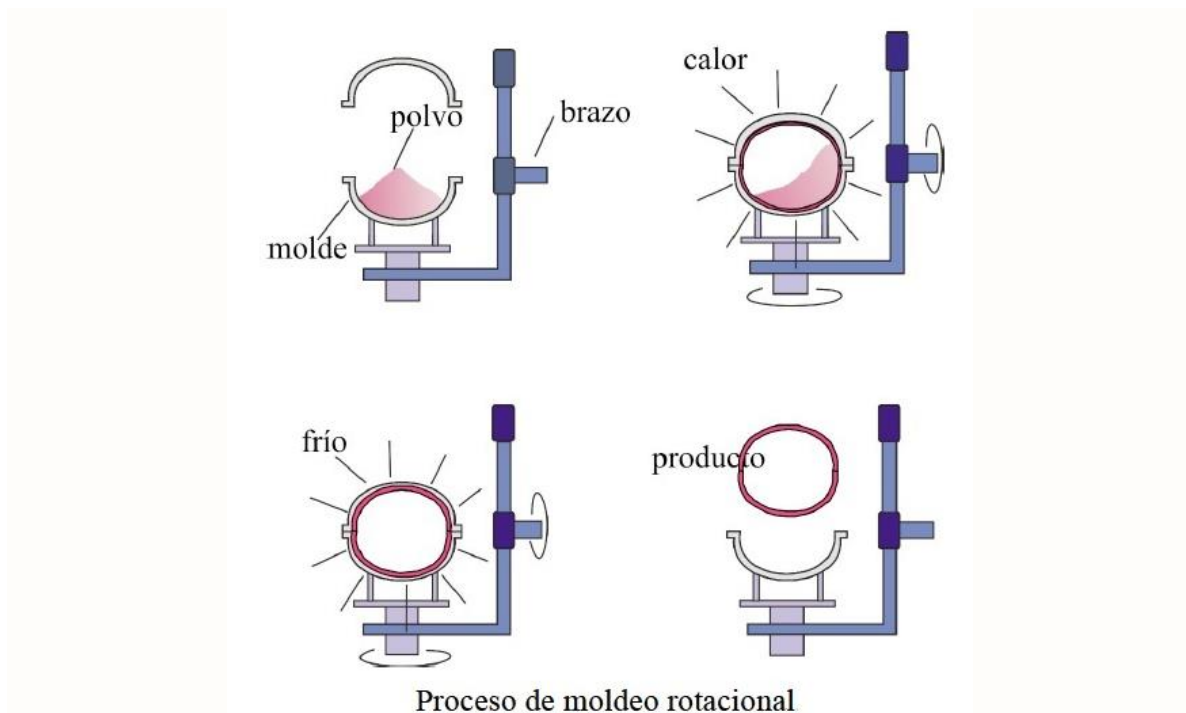
2.2 MARCO CONTEXTUAL

El desarrollo de este proyecto será desarrollado en la ciudad de Pereira - Risaralda, en la Universidad Tecnológica de Pereira, laboratorios de Mecatrónica (ParqueSoft), ubicados en el barrio San Luis y las áreas de ingeniería de Busscar de Colombia S.A.S. km. 14 vía Pereira-Cerritos.

2.3 MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL

El moldeo rotacional o rotomoldeo es el proceso de transformación del plástico empleado para producir piezas huecas, en el que plástico en polvo o líquido se vierte dentro de un molde luego se lo hace girar en dos ejes biaxiales mientras se calienta. El plástico se va fundiendo mientras se distribuye y adhiere en toda la superficie interna. Finalmente el molde se enfría para permitir la extracción de la pieza terminada. En los últimos años, el Rotomoldeo ha llamado fuertemente la atención de la comunidad industrial debido a las cualidades que presenta. Este proceso se va sofisticando día a día de manera que actualmente es considerado entre los procedimientos de transformación con mayor madurez tecnológica debido a las innovaciones en equipo, materiales y técnicas de control que han sido incorporados.

FIGURA 1: proceso rotomoldeo.



Disponible en internet: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/12/rotomoldeo-ii.html>
(Consultado el 04 de Enero de 2014).

Este proceso ofrece gran libertad de diseño, pues es posible fabricar artículos sorprendentemente complejos con herramientas relativamente sencillas y de bajo costo que en ciertos casos sería imposible moldear con otro procedimiento.

FIGURA 2: Pieza por rotomoldeo.



Disponible en internet: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/12/rotomoldeo-ii.html>
(Consultado el 04 de Enero de 2014).

En la fabricación de ciertas piezas huecas, con geometría de curvas complejas, pared uniforme, y “contrasalidas”, el rotomoldeo es una alternativa con menor costo frente al moldeo por soplado. Sin mencionar que debido a las bajas presiones empleadas en el moldeo rotacional se producen piezas con tensiones internas mínimas, presentando un buen comportamiento mecánico debido a su mayor solidez en comparación con las piezas producidas a través del Soplado o la Inyección.

Los niveles productivos del rotomoldeo pueden variar de algunas cuantas piezas, a cientos o miles de artículos, también es adecuado para la producción en baja escala con vista a la obtención de prototipos. Además, a causa de la libertad de diseño, este proceso sobresale entre las técnicas de alta velocidad y productividad. Además, el bajo costo de este proceso permite la experimentación con diversos materiales, distribución en el calibre de pared o con el acabado de las piezas.

Desde pequeñas piezas como los son partes de muñecas y pelotas, con las cuales el Rotomoldeo se posicionó en el mercado hace años, hasta artículos de alto desempeño físico o alta capacidad en volumen; el Moldeo Rotacional se presenta con varias ventajas frente a otros procedimientos de transformación para obtener piezas huecas tridimensionales donde las juntas del molde son prácticamente invisibles.

El moldeo rotacional transforma materiales termoplásticos, dentro de los cuales los más comunes son: Polietileno de Alta Densidad, Polivinilo Clorado en su presentación como Plastisol y Poliamida. Mientras el Plastisol tiene una consistencia líquida, el PEAD y la Poliamida se alimentan como polvos. De otra forma no podrían ser fundidos ni moldeados ya que el calor para realizar esto se transmite al material por conducción, proceso optimizado al aumentar el área de contacto en un polvo; considerando además, que en este estado el plástico puede “fluir” para tocar todas las paredes del molde mientras vaya girando. Los espesores de pared de los artículos rotomoldeados por lo general permanecen constantes, donde el espesor puede ir de 1mm hasta el grosor que

se requiera de acuerdo a las funciones de la pieza. Las paredes delgadas gemelas presentan excelentes propiedades de resistencia a la carga.

Es posible fabricar artículos tanto simétricos como asimétricos, en formas complejas y aún aquellas que presentan contrasalidas. Este proceso ofrece gran flexibilidad en cuanto al tamaño del producto, siendo factible moldear desde pequeños bulbos, para lavado auditivo, hasta tanques de almacenamiento de más de 15,000 litros; sin embargo, la mejor productividad se obtiene con moldes medianos y grandes. Las roscas, orificios e insertos metálicos se pueden incorporar a la pieza dentro del mismo proceso (dependiendo del diseño), eliminando costos por operaciones secundarias necesarias en otros procesos de transformación.

Por último, existen bajos niveles de desperdicio ya que este proceso no requiere el uso de coladas, ni bebederos. El material excedente o no deseado es poco en comparación con otros procesos para fabricar piezas huecas.

- **MOTOR AC:** Se denomina motor de corriente alterna a aquellos motores eléctricos que funcionan con corriente alterna. Un motor es una máquina motriz, esto es, un aparato que convierte una forma determinada de energía en energía mecánica de rotación o par. Un motor eléctrico convierte la energía eléctrica en fuerzas de giro por medio de la acción mutua de los campos magnéticos

FIGURA 3: Motor.



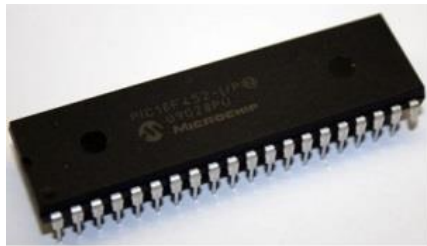
Disponible en internet:

<http://www.directindustry.es/prod/bodine-electric-company/motores-electricos-asincronos-9033-422327.html>

(Consultado el 04 de Enero de 2014).

- **MICROCONTROLADOR:** Un microcontrolador (abreviado μ C, UC o MCU), es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria.

FIGURA 4 : Microcontrolador.



Disponible en internet:

<http://es.farnell.com/powerlite-systems/pic18f452-bl/bootloader-pic18f452-for-flashlab/dp/1296457>
(Consultado el 04 de Enero de 2014).

- **RESISTENCIA:** Resistencia para calefacción como la integrada este proyecto son desarrolladas para uso industrial o personal, adaptándose a las necesidades del cliente. La materia prima usada para la creación de las resistencias son las varillas de cobre o acero inoxidable (AISI 304-L).

FIGURA 5: Resistencia para calefacción.



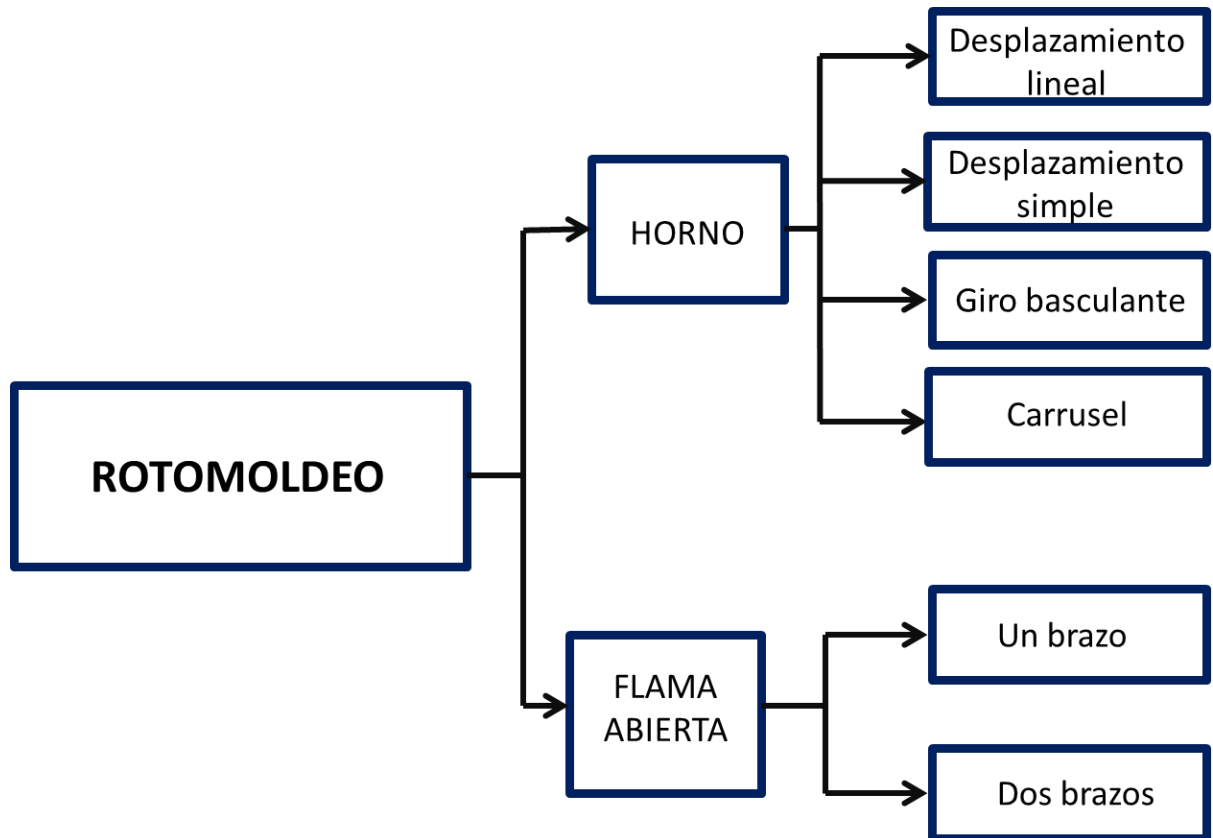
Disponible en internet:

<http://spanish.alibaba.com/goods/resistance-for-electric-stove.html>
(Consultado el 04 de Enero de 2014).

2.4. CONFIGURACIONES

En el gigante mundo manufacturero se encuentran diferentes tipos de máquinas que trabajan con el principio de rotomoldeo donde se encuentran:

FIGURA 6: Clasificación tipología de máquina.



Disponible en internet: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/12/rotomoldeo-ii.html>
(Consultado el 04 de Enero de 2014).

- Flama abierta: En el rotomoldeo por flama abierta el calentamiento se realiza por mecheros que rodean al molde al “aire libre”. Lo que provoca que la mayor parte del calor se disipe al medio ambiente. Por otro lado estas máquinas no pueden hacer giros biaxiales al mismo tiempo. Están sometidas a realizar giros de 360 grados y el siguiente giro lo tienen en aproximadamente 45 grados. Razones por la cual no se pueden realizar piezas complejas por el método de llama abierta. En el método por horneado el molde es introducido en un horno cerrado en donde se hace girar. Este último método permite un mejor control de los parámetros de temperatura.

Figura 7: Rotomoldeo por flama abierta.



Disponible en internet: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/12/rotomoldeo-ii.html>
(Consultado el 04 de Enero de 2014).

- En horno (desplazamiento lineal): En estos hornos los moldes son introducidos en el horno alternativamente en un eje lineal. Mientras uno está en etapa de calentamiento, el otro está en etapa de enfriado y desmolde por flujo de aire proveniente de ventiladores.

Figura 8: Rotomoldeo por horno desplazamiento lineal.

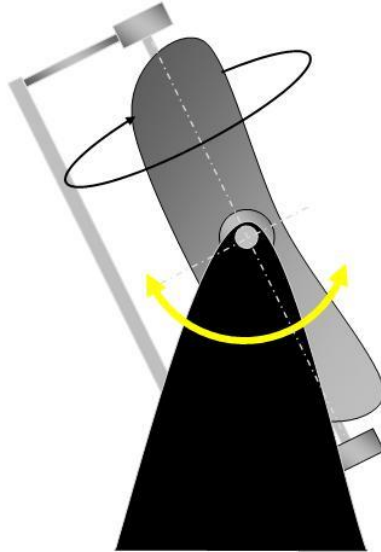


Disponible en internet: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/12/rotomoldeo-ii.html>
(Consultado el 04 de Enero de 2014).

- Horno Basculante (Rock & Roll): En el horno basculante o “rock and roll”, el molde gira el eje longitudinal mientras se balancea, sin completar el giro,

sobre su eje lateral. Por lo general, se trata de moldes para obtención de piezas de un largo considerable como el caso de canoas de seis o más metros. En esta tipología está fundamentado el diseño de este proyecto

Figura 9: Rotomoldeo por giro basculante.



Disponible en internet: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/12/rotomoldeo-ii.html>
(Consultado el 04 de Enero de 2014).

- Estación simple (clam shell): Este método cuenta con un único brazo portador de un único molde, que se introduce en un horno tipo almeja o “clam shell” para el calentamiento del material.

Figura 10: Rotomoldeo por estación simple.



Disponible en internet: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/12/rotomoldeo-ii.html>
(Consultado el 04 de Enero de 2014).

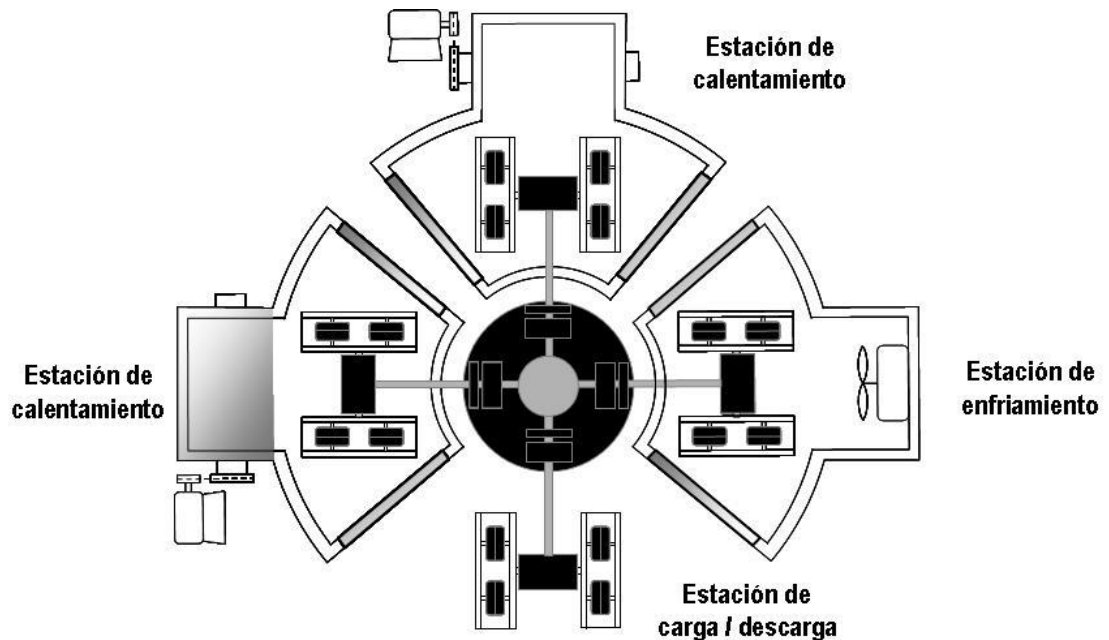
- Carrusel: También existen equipos de rotomoldeo que mediante uno o más brazos introducen el molde en un horno para la fusión del material, siendo el mismo brazo el que lo introduce en una estación de enfriamiento.

Figura 11: Brazo 3 estaciones.



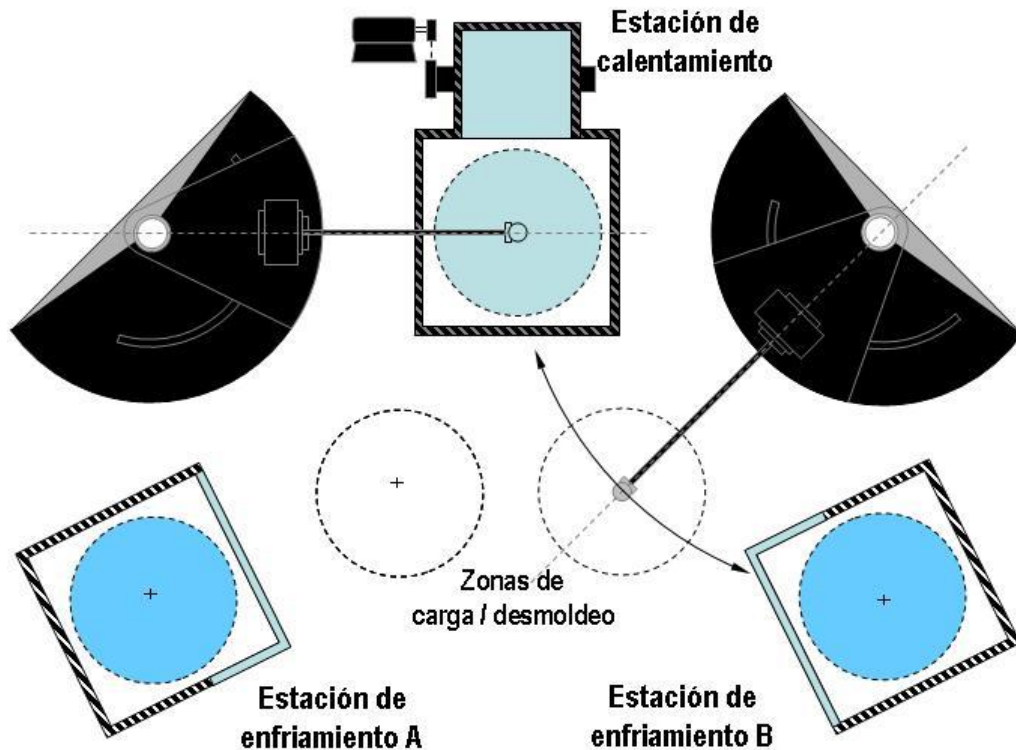
Disponible en internet: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/12/rotomoldeo-ii.html>
(Consultado el 04 de Enero de 2014).

Figura 12: Brazo 4 estaciones.



Disponible en internet: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/12/rotomoldeo-ii.html>
(Consultado el 04 de Enero de 2014).

Figura 13: Brazo 5 estaciones.



Disponible en internet: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/12/rotomoldeo-ii.html>
(Consultado el 04 de Enero de 2014).

3. PROCESO

Como se mencionó anteriormente el principio de rotomoldeo de plásticos es muy simple, a continuación se hablara de características más puntuales de este proceso. El proceso básicamente consiste en introducir una cantidad conocida de plástico en forma de polvo, granular, o líquido viscoso en un molde hueco. El molde se hace girar y/o agitado alrededor de dos ejes principales a velocidades relativamente bajas al mismo tiempo que se lo calienta de manera que el plástico encerrado en el molde se adhiere a la superficie del molde y forme una capa monolítica. La rotación del molde continúa durante la fase de enfriamiento de modo que el plástico conserve su forma deseada hasta que se solidifica. Cuando el plástico es lo suficientemente rígido, el enfriamiento y la rotación del molde se detienen para permitir retirar el producto de plástico del molde. En esta etapa se puede repetir el ciclo del proceso.

Las principales diferencias entre el rotomoldeo y otras técnicas de moldeo de plásticos, tales como soplado y moldeo por inyección, son los siguientes:

- se utiliza polvo de resina en lugar de gránulos;
- la resina se funde dentro de los moldes en lugar de ser forzada bajo presión a los moldes en estado fundido;
- el molde tiene una rotación en dos ejes;
- los moldes de rotomoldeo son menos costosos debido a su simplicidad;
- las presiones de operación son relativamente bajas, lo que permite que los moldes estén hechos de materiales menos costosos.

En el rotomoldeo, material plástico pulverizado forma cuerpos rígidos, elásticos y huecos dentro de moldes que son calentados mientras que al mismo tiempo se hacen girar simultáneamente en dos planos perpendiculares entre sí.

Las partículas de plástico hacen contacto con las superficies internas de los moldes calientes y se funden en capas hasta que todo el polvo se funde y se obtiene el producto final con el espesor de pared deseado. El espesor de pared se controla mediante la cantidad de polvo colocado dentro del molde.

Una de las ventajas del moldeo rotacional es que las piezas están libres de estrés a excepción de las fuerzas de contracción leves, debido a que las piezas se producen sin ningún tipo de presión externa. Además, en el rotomoldeo prácticamente no hay desperdicios.

La uniformidad de espesor de pared se puede mantener con una precisión de ± 10 por ciento, que es mejor que la que normalmente se puede alcanzar con el proceso de moldeo por soplado. El espesor de pared puede variar desde 1/32 de pulgada a 1 pulgada (0,8 mm a 25 mm). La mayoría de las resinas utilizadas en el rotomoldeo se muelen en polvos de malla 35 y con un diámetro de entre 74 micras y 2.000 micras.

3.1. APLICACIONES DEL PROCESO DE ROTOMOLDEO

El rotomoldeo permite la producción de un sinnúmero de artículos generalmente huecos que pueden ser total o parcialmente cerrados, con paredes sencillas o múltiples. La versatilidad en el diseño de piezas rotomoldeadas es casi ilimitada.

La rigidez o flexibilidad de un elemento es controlado por las propiedades de la resina utilizada y por el espesor de la pared.

A continuación se listan algunas aplicaciones en las cuales el proceso de rotomoldeo es particularmente adecuado:

Tanques

- Tanques sépticos
- Tanques de almacenamiento de productos químicos
- Tanques de aceite
- Tanques de combustible
- Tanques de tratamiento de agua
- Tanques de transporte
- Tanques para agricultura

Industria automotriz

- Apoyabrazos de las puertas
- Tableros de instrumentos
- Señales de tránsito y barreras
- Conductos
- Tanques de combustible

Contenedores

- Contenedores reutilizables de transporte
- Jardineras
- Contenedores de avión
- Tambores o barriles
- Cajas refrigeradas

Juguetes y ocio

- Casas de juegos
- Muebles de jardín
- Pelotas
- Caballos de juguete
- Juguetes y carritos montables
- Cabezas y piezas del cuerpo de muñecas
- Mesas de pool
- Tablas de surf

Manejo de Materiales

- Pallets
- Contenedores de pescado
- Botes de basura
- Embalaje
- Maletines de transporte para paramédicos

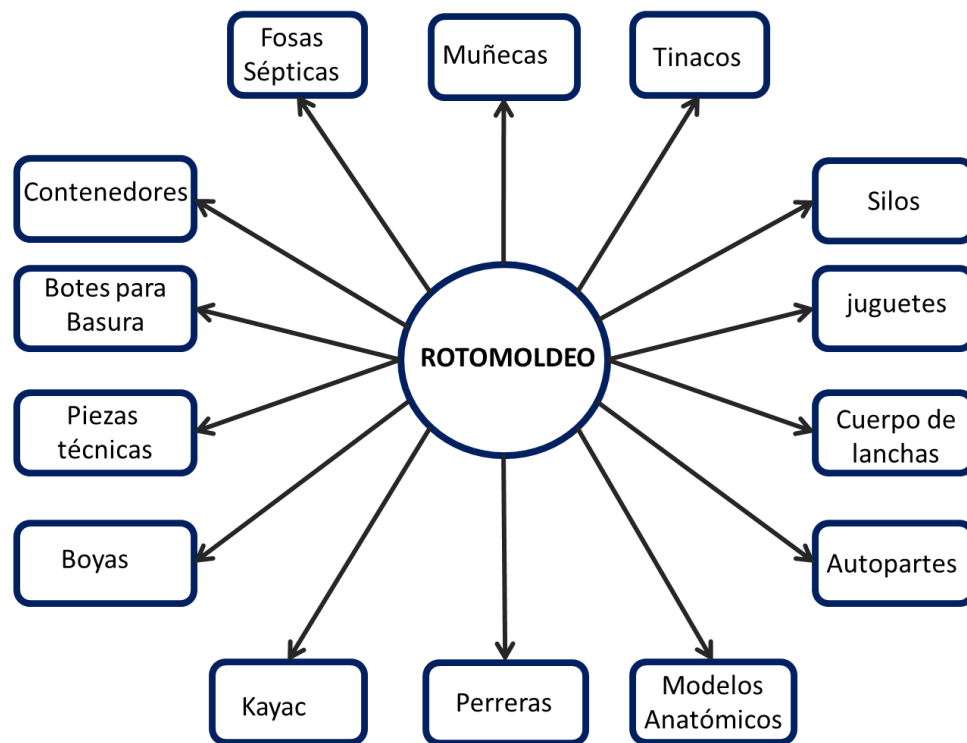
Industria Naval

- Flotadores de muelles
- Embarcaciones recreativas/ barcos
- Cubiertas de piscinas
- Kayaks
- Defensas
- Chalecos salvavidas

Misceláneos

- Tapas de alcantarillas
- Cajas de herramientas
- Carcasas para equipos de limpieza
- Sillones dentales
- Publicidad en puntos de venta
- Maniqués

Figura 14: aplicaciones rotomoldeo.



Disponible en internet: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/12/rotomoldeo-ii.html>

(Consultado el 04 de Enero de 2014).

Las aplicaciones que se obtienen con rotomoldeo son de una gama altamente variada.

Casi todos los productos comerciales fabricados utilizando el proceso de rotomoldeo están hechos de materiales termoplásticos, aunque también se puede utilizar materiales termoestables. La mayoría de los termoplásticos procesados mediante moldeo rotacional son semicristalinos, y las poliolefinas dominan el mercado mundial.

3.2. MATERIALES PARA EL ROTOMOLDEO

Para obtener el producto final deseado con moldeo rotacional, es esencial la elección de una resina en polvo de calidad. La principal razón es que las altas temperaturas usadas aumentan el riesgo de degradación química en un producto baja calidad.

Actualmente polietileno, en sus diversas formas, representa alrededor del 85% al 90% de todos los polímeros que son rotomoldeados. El polietileno reticulado también es utilizado frecuentemente en el moldeo rotacional. Los plastisoles de PVC constituyen aproximadamente el 12% del consumo mundial, y el policarbonato, nylon, polipropileno, poliésteres insaturados, ABS, poliacetal, acrílicos, celulósicos, epoxis, fluorocarbonos, fenólicos, polibutilenos, poliestirenos, poliuretanos, y siliconas conforman el resto de los materiales utilizados en la industria del rotomoldeo.

Productos que utilizan materiales de alto rendimiento como la fibra de nylon reforzado y los conductos para aviones de PEEK muestran el potencial de la tecnología de rotomoldeo, aunque realmente los productos realizados con estos materiales representan una fracción muy pequeña de la industria. También existen intentos de incluir fibras en las piezas rotomoldeadas pero hasta el momento esto no se ha realizado comercialmente.

Aunque el proceso de rotomoldeo tiene numerosas características atractivas, también está limitado en muchos aspectos. La limitación más importante es la escasez de materiales adecuados. Esto se debe principalmente a la severa exigencia de tiempo-temperatura a la que se somete al polímero, y también debido a la existencia de un mercado relativamente pequeño para las no-poliolefinas.

Las resinas especialmente desarrolladas para rotomoldeo disponibles en el mercado poseen precios relativamente altos, debido a que los costos de desarrollo se trasladan al usuario. Además se debe considerar el costo adicional de la molienda de pequeña escala de los gránulos de plástico a polvo y que las características inherentes térmicas y económicas de la producción favorecen el proceso de pocas piezas pero relativamente grandes y voluminosas tales como tanques químicos.

Los materiales que comúnmente son utilizados en el rotomoldeo son:

- Polietileno de alta densidad
- Polivinilo clorado
- Polivinilo clorado en su presentación como plastisol
- Poliamida

Materiales como los plastisoles cuentan con una consistencia líquida, mientras que el polietileno de alta densidad y la poliamida son considerados como polvos. De otra forma no podrían ser fundidos ni moldeados ya que el calor para realizar esto se transmite al material por conducción, proceso optimizado al aumentar el área de contacto en un polvo, pues en este estado, el plástico puede “fluir” para tocar todas las paredes del molde mientras vaya girando.

TABLA 1: MATERIALES PARA ROTOMOLDEO.

CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES MAS USADOS EN EL ROTOMOLDEO					
	POLIETILENO PB	POLIETILENO MD Y HD	PROPILENO	POLIAMIDA 6	POLIAMIDA 11,12
DENSIDAD	0,90 - 0,92	0,925 - 0,950	0,90	1,10 - 1,20	1,00 - 1,10
RESISTENCIA TRACCIÓN Mpa	4 - 16	10 - 35	30 - 35	70 - 80	210 - 240
RESISTENCIA COMPRESIÓN Mpa	xx	20 - 25	55 - 60	35 -50	35 -50
UMBRAL NORMAL DE USO °C	-50 a 70	-50 a 80	-50 a 110	-50 a 120	-50 a 135
VELOCIDAD COMBUSTIÓN	lenta			muy lenta	auto extinguible
RESISTENCIA ALCALIS	buena			buena / regular	
RESISTENCIA ACIDOS	buena en general		buena	mala	
RESISTENCIA DISOLVENTES	acetona alcohol (mal benceno)			acetona alcohol benceno	
LIMPIEZA	agua y jabon acetona alcohol (no usar nunca benceno/tolueno en el PEBD)			acetona alcohol	

También en el rotomoldeo el material se puede clasificar por según el estado de la materia prima como hemos mencionado, la materia prima utilizada puede estar

tanto en estado sólido (gránulos finos o polvo), tal el caso de pe, eva y pc, como así también líquido, ejemplo: plastisol.

De acuerdo al tipo de materia prima utilizada, dependerán los tiempos de cada etapa del ciclo. Para un plastisol el calentamiento tiene la función de solidificar el material y el posterior enfriado solo tiene la función de bajar la temperatura de la pieza conformada. En el caso del hdpe, el calentamiento tiene la finalidad de proporcionar la temperatura necesaria para la fusión del material para que se disperse por toda la superficie del molde durante la rotación, mientras que la etapa de enfriado solidifica el material para la obtención de la pieza conformada.

TABLA 2: CLASIFICACIÓN POR MP.

MATERIA PRIMA		
LIQUIDA		POLVO
PVC		HDPE
FLEXIBLE	PLASTISOL	LDPE
		LLDPE
		EVA
		NYLON
		POLICARBONATO
		PP
		POLIETILENO ENTRECRUZADO

3.3. CARACTERÍSTICAS DE PRODUCCIÓN

La dotación requerida para la producción de piezas de rotomoldeo incluye entre otros un molino, para adecuación de materia prima, el molde donde se conforma la pieza, y un horno para calentamiento de la pieza. Las características relevantes para cada uno de estos equipos se presentan a continuación:

3.3.1. MOLINO

Normalmente los proveedores de resinas suministran los termoplásticos en la forma de gránulos (pellets), presentación inapropiada para el moldeo rotacional, debido a que el proceso se basa en la capacidad del polímero para adquirir la forma del molde sin la aplicación de ninguna presión; el estado idóneo para garantizar fluidez durante la rotación es el de polvo. Además durante el proceso, la materia prima es calentada por encima de la temperatura interna del molde y para garantizar una efectiva transferencia de calor es necesario que el polímero esté en forma de polvo, pues el material granular, que tiene menor área superficial, necesitaría temperaturas mayores, generando una fundición poco deseable en el proceso. Existen excepciones como el nylon, que puede ser procesado en forma granular debido a propiedades como rápida fundición y baja viscosidad.

Para producir el tipo de polvo requerido para este proceso, los gránulos deben ser sometidos a un proceso de molienda, en el cual se alimentan dos rodillos que giran a alta velocidad y que poseen una pequeña separación. La acción cortante de los rodillos reduce los gránulos a polvo, que posteriormente es tamizado para obtener partículas del tamaño adecuado para ser rotomoldeadas. La habilidad del molino, y la eficiencia y calidad del equipo de molienda tienen un efecto importante en la facilidad de moldeo del polvo. Además de la distribución del tamaño de partícula, la forma de las mismas también es importante. Excesivas colas son indeseables, porque pueden afectar severamente las características de flujo del polvo. Para corregir este problema es necesario controlar la temperatura y la velocidad de alimentación en el proceso de molienda.

3.3.2. MOLDE

El material más común para la elaboración de moldes es el aluminio fundido. Otros materiales usados son hojas de metal, aluminio maquinado, acero dúctil o inoxidable (especialmente cuando deben ser elaboradas muchas partes o el molde va a ser encamisado), níquel, y cobre o sus aleaciones, cuando es deseable aumentar la transferencia de calor para obtener formas muy complejas.

3.3.3. HORNOS

Se emplean hornos convencionales de gases, en donde al aire que rodea el molde es calentado y transfiere el calor por convección al molde; estos hornos son los más populares. No obstante presentan el inconveniente de que la corriente de aire no siempre transfiere calor de igual manera hacia toda la geometría del molde, por lo que ciertas zonas reciben mayor transferencia de calor que otras, especialmente cuando existen áreas de difícil acceso que crean zonas de aire encerrado y con dificultad de fluir. Actualmente se cuenta con el moldeo rotacional por infrarrojo (hornos infrarrojos). Este método permite expandir significativamente los diseños y la capacidad de producción del proceso debido a que favorece el

control puntual del calentamiento en áreas difíciles o de formas complejas; permite incrementar la transferencia de calor en ciertas áreas y consecuentemente aumentar el espesor de la pared o reducir el tiempo del ciclo de calentamiento. Con el sistema infrarrojo, el calor puede ser concentrado en ciertas áreas empleando tintas oscuras que absorban los rayos, o puede ser disminuido en ciertas zonas empleando materiales reflectivos que reflejen los rayos. Esto permite un mejor control de la temperatura y una operación más precisa cuando se va a trabajar con moldes de espumados.

3.3.4. CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES PARA ROTOMOLDEO

Aunque la variedad de resinas para rotomoldeo es amplia, las exigencias sobre las propiedades específicas de los grados que son apropiados para el moldeo rotacional son en cierto modo restrictivas. Una buena resina para el rotomoldeo puede definirse por los siguientes parámetros:

3.3.4.1. FACILIDAD DE MOLIENDA

La facilidad de un material para la molienda se refiere a su capacidad para ser molido hasta un polvo fino. Los grados de resina que tienen bajo índice de fluidez no se muelen fácilmente. En algunos casos una resina con bajo índice de fluidez puede ser molida bajo una atmósfera de nitrógeno líquido o algún otro método de enfriamiento para que el material no se caliente excesivamente durante el proceso.

3.3.4.2. DISTRIBUCIÓN DE PARTÍCULA

La distribución de tamaños de partícula del polvo debe ser estrecha. La presencia de partículas muy pequeñas con partículas relativamente grandes, trae como consecuencia que la absorción de calor de las partículas sea poco homogénea, lo que podría originar un recubrimiento no uniforme de las paredes del molde.

3.3.4.3. TAMAÑO DE PARTÍCULA

El tamaño de partícula es una medida de la abertura de malla a través de la cual pasa el 95% de las partículas. Los tamaños de malla comunes para polvos usados en rotomoldeo van de 16 a 50, correspondiendo a tamaños de partícula entre 1,9 y 0,30 mm respectivamente. Un tamaño de partícula del polvo de 35 mesh es apropiado para el rotomoldeo.

El PE por ejemplo, se encuentra disponible en forma de polvo. Las densidades del PE sólido están en el rango de 920 a 960 Kg/m³, y el grado seleccionado depende del uso final del producto. El índice de fluidez para el PE puede variar entre 2 y 8 g/10 min para aplicaciones de rotomoldeo. Un valor por encima de 10, indica un

PE con pobre resistencia al impacto a bajas temperaturas y baja resistencia al craqueo por esfuerzo ambiental (ESCR). Si el índice de fluidez es inferior a 2, la viscosidad es demasiado alta, por lo que se dificulta la elaboración de piezas con detalles en sus superficies.

3.3.4.4. FLUIDIZACIÓN

Para que el material se adhiera apropiadamente al molde, el polvo debe fluir fácilmente sin ninguna presión externa diferente a la gravedad. Esta propiedad es llamada fluidización, y se mide contabilizando el tiempo requerido para que un peso dado del polvo del material fluya a través de un embudo estándar. Si se emplea el procedimiento de prueba indicado en la Norma ASTM 1895, una velocidad de flujo mínima de 185 gramos/minuto caracteriza polvos apropiados para el molde.

3.3.4.5. DENSIDAD A GRANEL (BULK DENSITY)

Es una medida de la densidad del polvo antes de ser calentado o compactado, es decir, es la densidad del polvo justo después de ser molido. Entre mayor sea la densidad a granel del material mejor es su procesabilidad para el rotomoldeo, porque se favorece la compactación en estrechos paquetes, ayudando a la fusión de la resina.

3.3.4.6. FACILIDAD DE FUSIÓN

Las partículas deben fusionarse fácilmente durante el ciclo de calentamiento. Si el peso molecular del plástico es demasiado alto (índice de fluidez bajo) las partículas necesitarán más energía para moverse juntas y llegar a fusionarse, y por lo tanto serán necesarias altas temperaturas, pudiendo incluso provocar degradación térmica del material. Si el peso molecular es demasiado bajo, el material se fundirá antes de fusionarse; si el material se funde, formará pequeños charcos en el molde y las paredes no serán uniformemente cubiertas. Además, para cada resina un rango de pesos moleculares debe ser establecido. Este rango generalmente es expresado como un rango del índice de fluidez. Para el HDPE, el rango de índice de fluidez normal es de 3 a 7. Dentro de este rango las resinas con alto índice de fluidez son seleccionadas cuando la pieza es muy compleja y buen flujo es requerido en ciertas áreas complicadas. Resinas con bajo índice de fluidez son apropiadas cuando se necesita mejorar la resistencia al impacto, al agrietamiento por esfuerzos y a la carga. Desde el punto de vista del desempeño físico, las resinas con bajo índice de fluidez son preferidas, aunque son difíciles de moldear y no pueden ser usadas para la elaboración de algunas piezas.

3.3.4.7. ENTRECruzamiento

Un método para obviar el problema de la necesidad de un bajo índice de fluidez por las propiedades del producto final y la necesidad de un alto índice de fluidez por facilidad de procesamiento, consiste en moldear una resina de alto índice de fluidez y, cuando la fusión ya haya ocurrido, incrementar el peso molecular por entrecruzamiento químico de la resina. Las resinas usadas normalmente en rotomoldeo (como el polietileno), generalmente no presentan entrecruzamiento por métodos químicos, pero bajo ciertas circunstancias esto puede lograrse con la adición de un peróxido (agente iniciador), calor y algo de tiempo, aunque la duración del ciclo de calentamiento generalmente es suficiente para que ocurran las reacciones de entrecruzamiento.

3.3.4.8. ESPUMADO DEL PE

Es posible incrementar la rigidez y resistencia al impacto de una pieza de PE rotomoldeada mezclando un pequeño porcentaje de un agente espumante con el polvo de PE antes del proceso. El porcentaje de agente de espumado a usar depende del espesor de la espuma necesitada. El proceso de rotomoldeo puede hacerse adicionando la mezcla de polímero y agente espumante, o primero iniciando el proceso con la resina del polímero sola y adicionando la mezcla de polímero con agente espumante una vez se haya formado una capa inicial en el molde.

3.4. FORMA Y DISEÑO DEL PRODUCTO

Mientras una alta flexibilidad de diseño es posible con el rotomoldeo, algunas limitaciones importantes deben ser tenidas en cuenta: las secciones largas y planas deben ser evitadas, ya que tienden a pandearse cuando se remueven del molde. Cuando la pieza tiene secciones con estas características, se debe diseñar un refuerzo estructural.

El control del espesor de pared es usualmente mejor que el obtenido por soplado o termoformado, pero no tan bueno como el de moldeo por inyección. Con el rotomoldeo, es normal tener variaciones menores al 10% en el espesor. Los principales factores que influyen en esta falta de homogeneidad son las variaciones térmicas en el horno y la cámara de enfriamiento y deficiencias en las velocidades rotacionales de los dos ejes. El espesor de una pieza está limitado por la habilidad de la resina para transmitir calor. Las piezas rotomoldeadas generalmente tienen espesores entre 0,3 y 1,2 pulgadas (7,5 y 30 mm). Incrementar el espesor puede tener un efecto significativo en el ciclo; por ejemplo un incremento de 0,33 pulg (0,75 mm) en espesor para una pieza hecha de nylon requiere un incremento del ciclo de calentamiento de 2 minutos. Si el ciclo de calentamiento llega a ser demasiado largo, las piezas pueden comenzar a degradarse; adicionalmente el límite del espesor alcanzado está también limitado por la sensibilidad térmica de la resina. Es por tanto necesario estudiar los parámetros involucrados para llegar a un balance óptimo durante la operación.

4. ANTECEDENTES

En Colombia las industrias que trabajan con el proceso de rotomoldeo dentro de su línea de producción son escasas, normalmente las piezas que se requieren como complemento de sus productos terminados son desarrollos y adquiridos como ya se ha mencionado anteriormente por medio de proveedores externos, las empresas que requieren de acabados de peso ligero y optan por fabricarlos internamente sumándolo a un proceso más en su línea de producción por lo general lo realizan en fibra de vidrio, esto ya cae la capacitación para aplicar este tipo de tecnología son de alguna manera simple y no requiere mayor esfuerzo o una capacidad profesional alta, aparte de que es un proceso sencillo.

Las empresas que usan en un alto nivel el rotomoldeo lo emplean dentro de su estrategia de producción en otras palabras usan este medio o tecnología para sus piezas que en si son sus productos de comercialización como ejemplo tenemos las empresas que comercializan tanques para almacenamiento de agua, juguetería, muebles de estudio escolar y almacenamiento de alimentos entre otras.

4.1. ANÁLISIS COMPARATIVO DE ANTECEDENTES

En Colombia las industrias que trabajan con acabados plásticos lo realizan con diversas disciplinas como:

- Inyección de plástico
- Extrusión de plástico
- Termoformado
- Compresión
- Moldeo por transferencia
- Colada
- Espumado
- Calandrado

A pesar de la gran capacidad que tiene la industria colombiana de aplicar tecnologías como las mencionadas anteriormente son pocas las que cuentan con una de estas como unidad productiva dentro de su línea de producción.

La rotomoldeadora que se plantea en este proyecto cuenta con la ventaja de ser más económica que las que se encuentran en el mercado además cuenta con una amable interfaz para que el operario pueda operarla sin la necesidad de que este tenga un alto nivel técnico, también cuenta con criterios de seguridad a la hora de su manipulación.

Investigando con algunos de los proveedores de materia prima para la producción de plásticos a nivel nacional se llega a la conclusión de que el diseño planteado esta de manera artesanal en algunas empresas pequeñas, en las que aplican la disciplina de rotomoldeo como principal proceso en su industria lo aplican con máquinas de alta gama y de gran tamaño.

La propuesta de diseño está enfocada como solución a las empresas que usan otro tipo de alternativa para la adquisición de piezas con acabados plásticos con terminado estético para que puedan incluir dentro de sus procesos esta práctica y así usar el rotomoldeo como herramienta y mejora en su nivel operativo.

La máquina que se propone en el diseño contara con un nivel técnico dejando la práctica netamente artesanal a un lado, esto sin excluir de todo al operario permitiendo así fusionar lo artesanal con lo técnico, ofreciendo un alto nivel de calidad y una mejora significativa en la optimización del tiempo.

Figura 15: maquina artesanal.



Disponible en internet: <http://informaciona.com/rotomoldeados/videos>
(Consultado el 09 de Febrero de 2014).

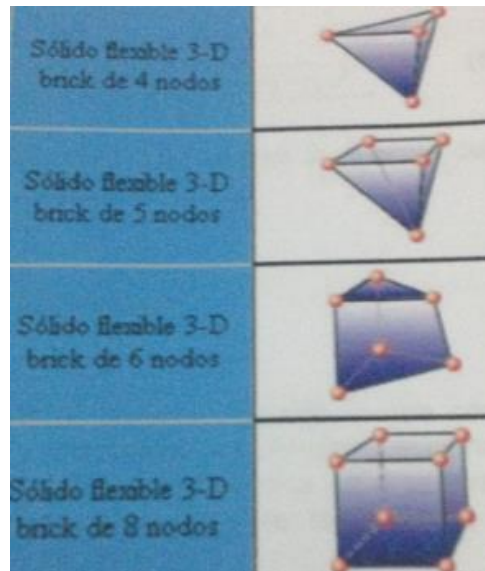
4.2. NORMAS Y CRITERIOS

La normalización para este tipo de productos mayor mente está ligada a su propósito final donde deben cumplir dependiendo el caso. Por ejemplo para la fabricación de tanque de almacenamiento de agua que se fabrican por rotomoldeo se encuentra la norma NTC (Norma Técnica Colombiana) 4384, para la fabricación de productos relacionados con la ergonomía con la norma NTC 4641 y los relacionados a la industria de alimentos con la NTC 2366.

4.3. TIPO DE ELEMENTO FINITO UTILIZADO PARA LA MODELACIÓN

El tipo de elemento utilizado para la modelación fue el tipo sólido brick. Los elementos sólidos flexibles 3-D se utilizan para simular el comportamiento de sólidos. La ventaja de utilizar este tipo de elemento es la representación más exacta a la realidad ya que considera todas las piezas del modelo. Los tipos de elementos finitos utilizados se muestran en la figura No 16

Figura 16: Tipo de elemento finito usado para la modelación.



Automatización de la operación de una maquina ensambladora de bebederos tipo nipples para el proceso de la empresa avicorvi S.A.S. Alber Posada

5. MÉTODO DE SOLUCIÓN

En el actual proyecto se plantea dos métodos de solución uno donde se abarca la solución donde se tiene en cuenta principalmente la capacidad económica o disposición a realizar una inversión por parte de industria interesada a implementar el diseño que se presenta para la rotomoldeadora.

Se considera dos propuestas una con un diseño de control que permita de maneara automática desarrollar todo el proceso de rotomoldeo una vez que sea introducido el molde a la máquina, esta debe contar con un computador y una licencia del software MATLAB® y que este a servicio de la máquina y a una distancia no mayor a 3 mts de la misma.

La otra propuesta de es desarrollar un circuito donde un operario pueda intervenir en las variables que interactúan y que tienen más influencia en el proceso de rotomoldeo que para este caso específico se tiene velocidad y temperatura.

5.1. MÉTODO O ESTRUCTURA DE LA UNIDAD DE ANÁLISIS

Las principales variables a tener en consideración son:

Velocidad: La velocidad es uno de los factores importantes y de una considerable dificultad que pueden encontrarse en la realización de este proyecto, la cual se solucionara con un variador de velocidad de con operado con un potenciómetro lineal para poder modificar la velocidad.

Figura 17: diagrama electrónico PWM - simulación 'PROTEUS'.

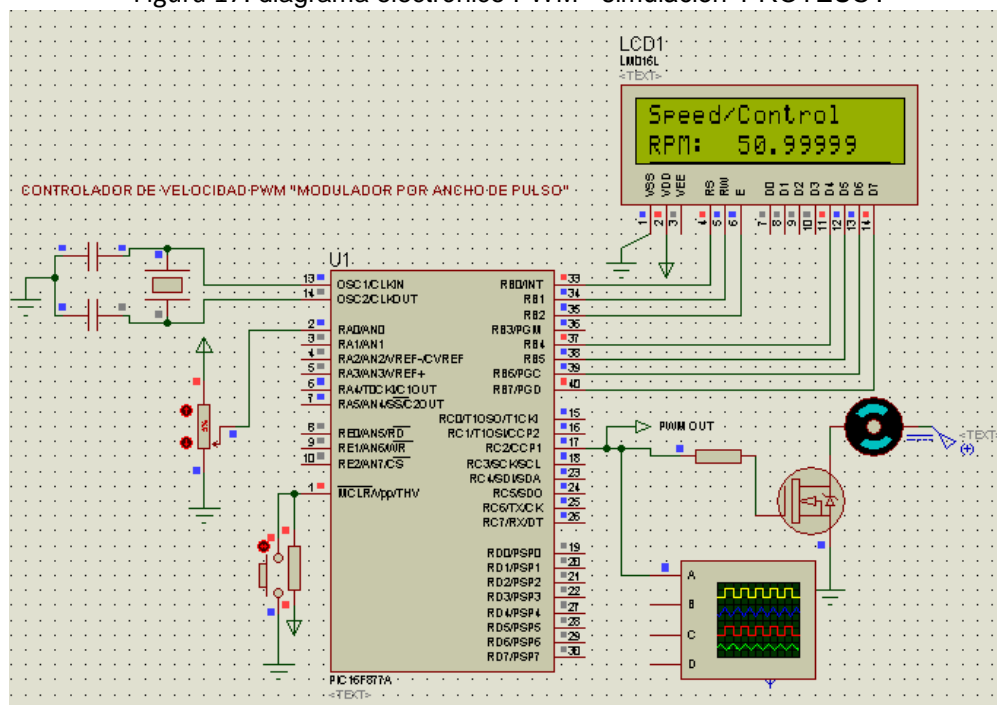
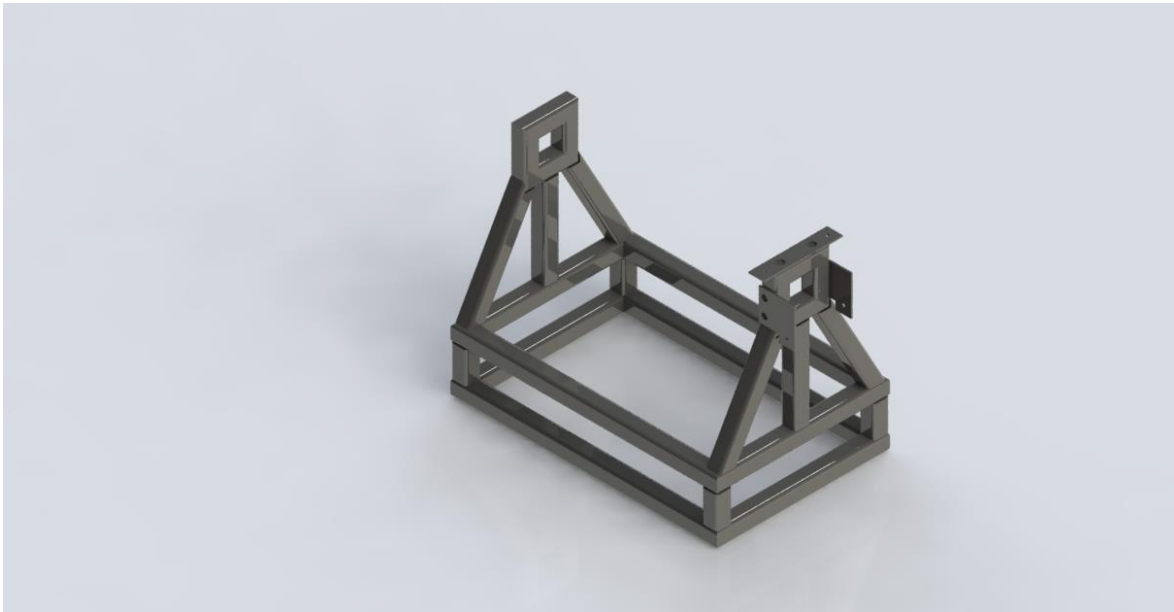


Figura 18: diagrama electrónico variador de temperatura - simulación 'PROTEUS'.



Estructura: La estructura es una de las características más críticas ya que debe tener en cuenta peso y resistencia, para la estructura que estará en movimiento de giro axial en dos ejes se construirá con tubería cuadrada galvanizada de calibre 12 y los componentes mecánicos serán extruidos en acero 1040 y una cobertura de protección en lámina galvanizada calibre 16 para cuando esté operando la máquina.

Figura 19: imagen renderizada chasis principal.



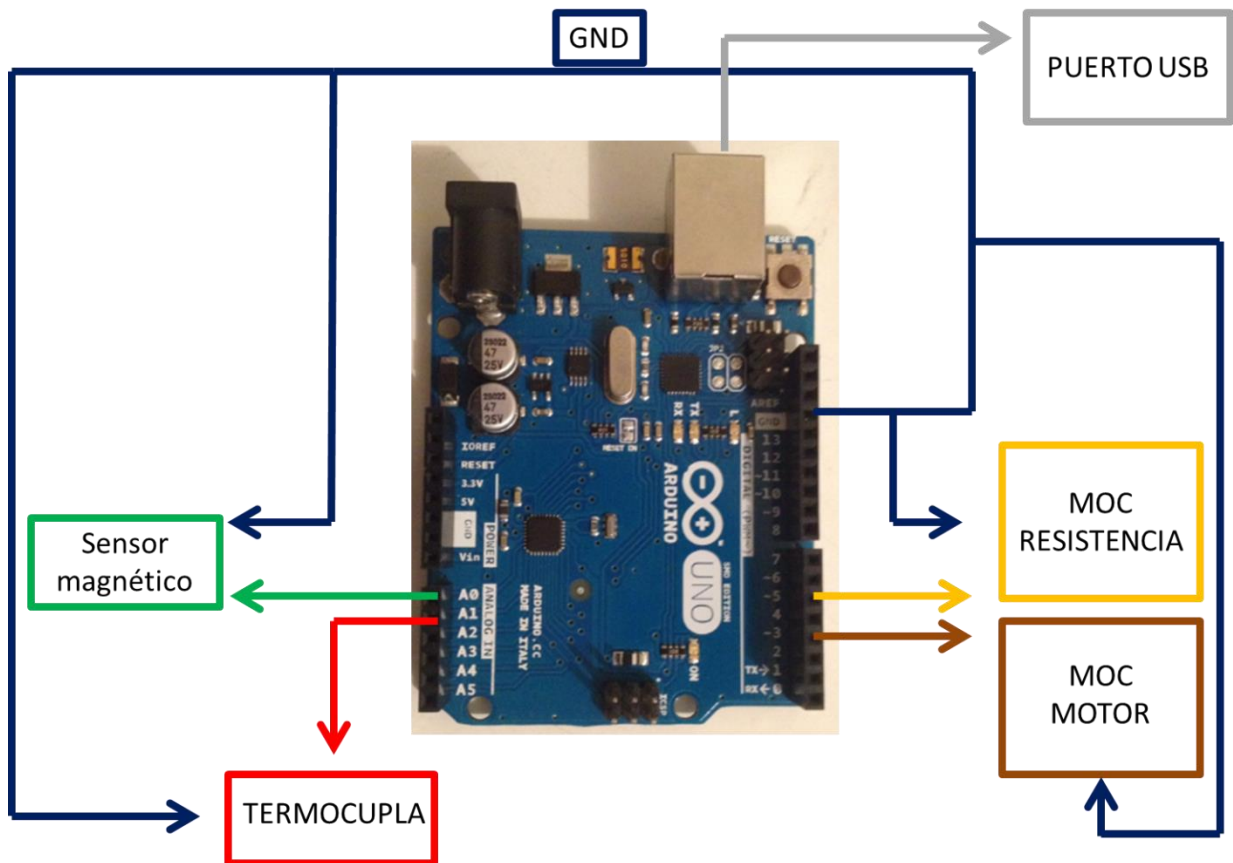
5.2. CRITERIOS DE VALIDEZ

5.2.1. VALIDEZ INTERNA

Para medir las variables de la rotomoldeadora se usará un variador de velocidad con acción PWM y el ya mencionado sensor de temperatura, para tener una lectura del comportamiento de la máquina cuando este ejecutando una acción ordenada por el operador.

Para el caso de control se realizara con asistencia de un arduino, que recibirá la señal del motor y de la termocupla, y el control se ejecutara con la asistencia de un PC con el software MATLAB debidamente registrado.

Figura 20: Mapeo cableado operación con arduino



5.2.1.1. COMPONENTES ELECTRÓNICOS

Para ejecutar el diseño electrónico de la máquina se encuentra un circuito de alimentación con una fuente y conjunto de relés, etapa de potencia y dos principales circuitos, estos últimos para el caso que se opte por operar sin la etapa de control.

Figura 21: Esquemático alimentación

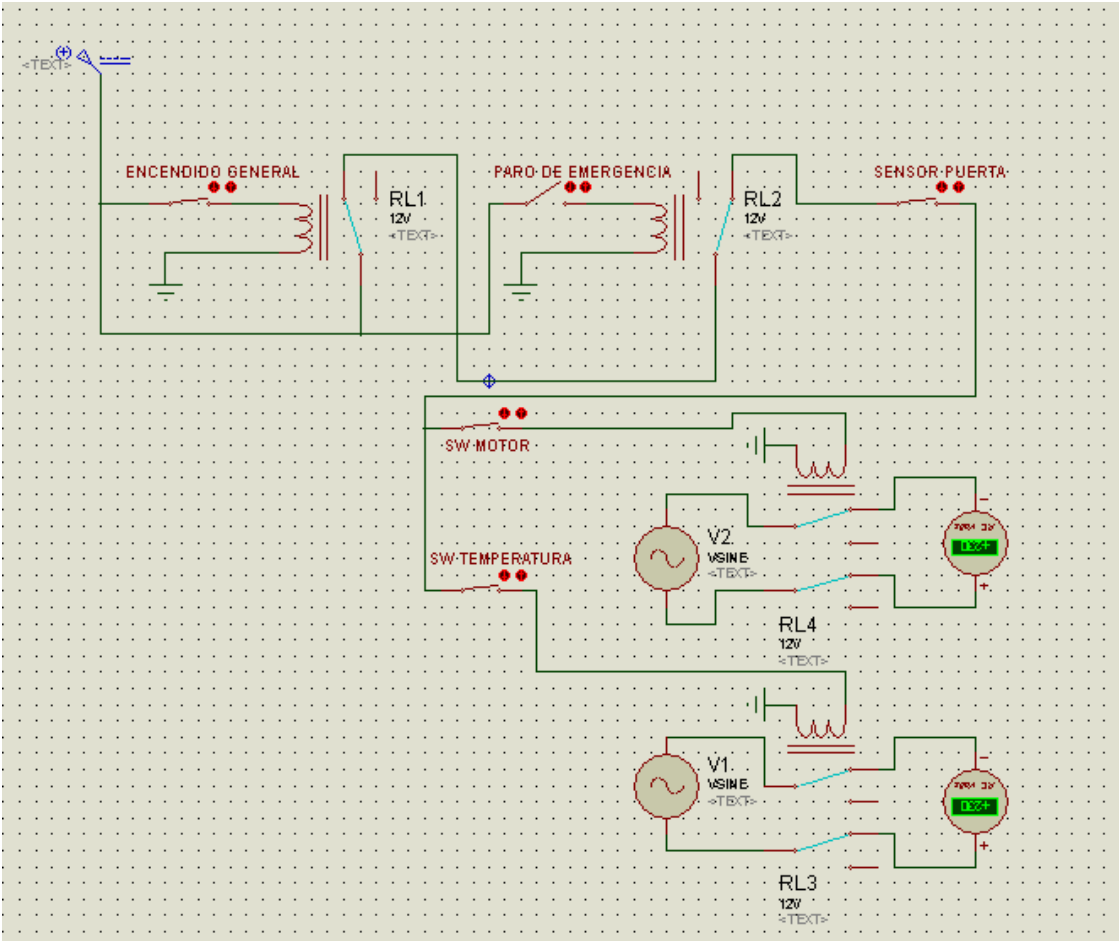
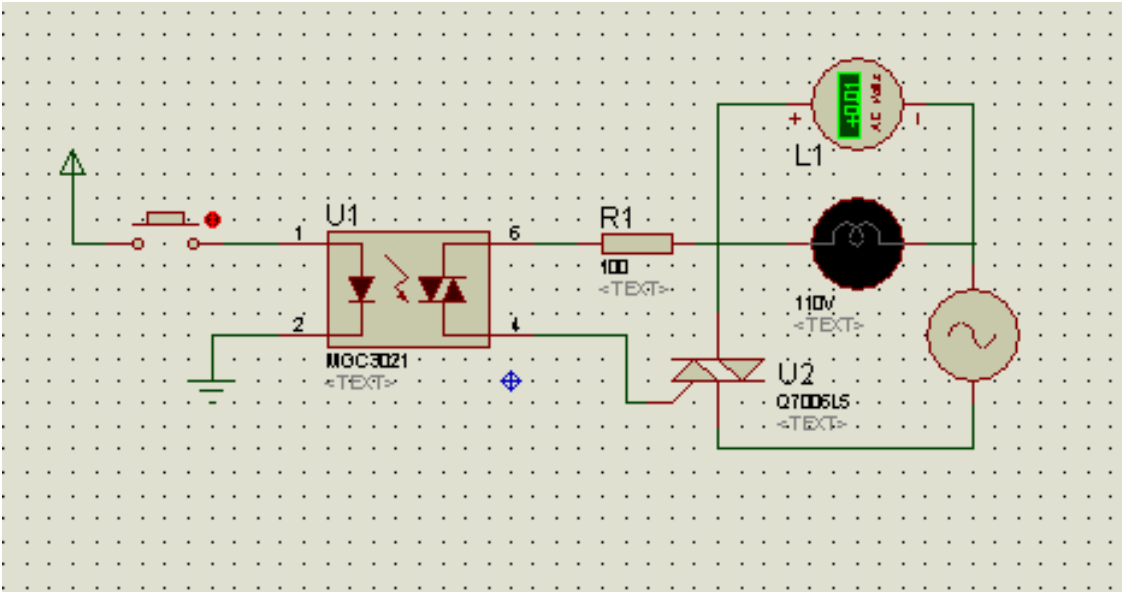


Figura 22: Etapa de potencia Motor y Resistencia



5.2.1.1.1. Circuito lector de temperatura:

En este circuito se visualizara la temperatura en tiempo real despreciando el tiempo de ejecución interna de los componentes, mencionados a continuación.

- 1 Pic 18F452
- 1 Cristal de 8MHz
- 1 Termocupla TCK 0°C - 900°C
- 1 Jumper (seguridad)
- 1 Switch NO
- 1 Integrado MAX6675
- 1 Integrado MAX232
- 1 Integrado 7447
- 1 Pantalla de 4 display 7 segmentos
- 2 Condensadores de 22pF
- 3 Condensadores de 1nF
- 4 Condensadores de 1uF
- 3 Transistores PNP
- 4 Resistencias de 1 k ohm
- 7 Resistencias de 110 ohm
- 3 Resistencias de 100 ohm

5.2.1.1.2. Circuito variador de Velocidad:

En este circuito se podrá visualizar la velocidad de la máquina y con un potenciómetro lineal se podrá variar la velocidad de la máquina, para el diseño se tienen los siguientes componentes:

- 1 Pic 16F877A
- 1 Cristal de 20 MHz
- 1 Switch NO
- 1 Moc 3021
- 1 Potenciómetro lineal de 100 K ohm
- 1 Triac
- 1 Pantalla LED LM016L
- 2 Condensadores 22pF
- 1 Resistencia de 10 K ohm
- 1 Resistencia de 150 ohm
- 1 Resistencia de 100 ohm

5.2.2. VALIDEZ EXTERNA

Ya con los datos obtenidos estos serán visualizados y le darán al operador de la máquina la información necesaria para tomar las decisiones en cuanto a las acciones a tomar dependiendo las necesidades requeridas para el material que se esté trabajando y obtener el producto final de la forma esperada, esto para el caso en el que se decida operar sin la etapa de control.

Para el caso de la operación con control, este garantizará que la operación de la máquina trabaje dentro de los parámetros establecidos dependiendo la materia prima y su estado sea polvo o líquido con o sin temperatura requerida en el proceso manteniendo la velocidad necesaria sin alteraciones por cambios en el peso por molde o por solidificación de la materia prima, garantizando así el mismo nivel de calidad en todas las operaciones realizadas por la rotomoldeadora.

5.2. MODELO DE TEMPERATURA

La variable que se mide en un sistema térmico es la temperatura $T(t)$, y la variable que fluye a través de sistema es el calor q , sin embargo el producto de $T(t)*q$ no es la potencia

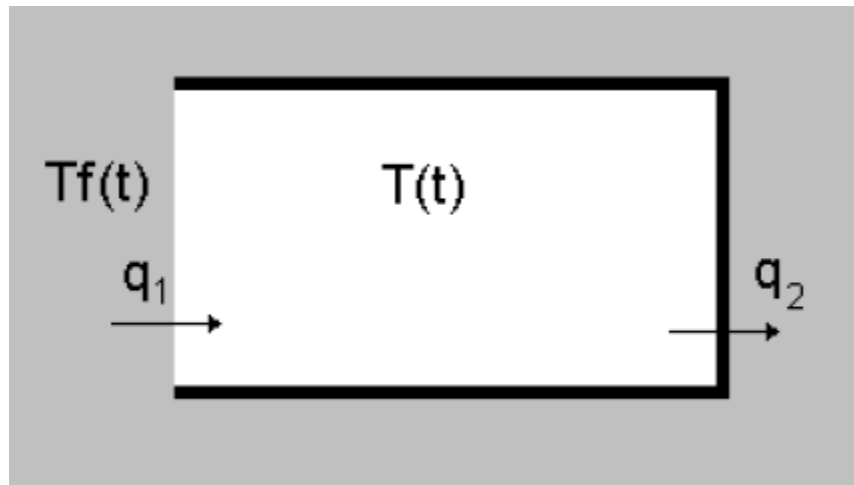
- Resistencia térmica

Una resistencia no debe verse como un elemento que disipa energía y la convierte en calor, sino que el calor es una consecuencia del hecho de que para que haya flujo de calor q se necesita que haya una diferencia de temperatura T

- capacitancia térmica

Si consideramos una superficie parcialmente aislada térmicamente y expuesta solamente a una temperatura $T_f(t)$ por el área no aislada como se muestra en la figura No 14.

Figura 23: Temperatura.



Control de Procesos Industriales Sistemas Térmicos
ING MSc SIGILFREDO ARREGOCES

Si se considera a q_1 como el calor que fluye hacia adentro de la superficie y q_2 como el calor que fluye hacia fuera de la superficie, la diferencia ($q_1 - q_2$), se almacena en forma de energía dentro de la superficie y se puede escribir como:

$$q_1 - q_2 = c_e m \frac{dT(t)}{dt} \quad (1)$$

Dónde:

m =masa dentro de la superficie

c_e =es el calor específico del elemento dentro de la superficie

La capacitancia térmica se define como

$$C = c_e m$$

Se puede escribir que

$$q_1(t) = \frac{T_f(t) - T(t)}{Rt} \quad (2)$$

Si no hay flujo hacia afuera $q_2=0$

Se tiene:

$$q_1(t) = q(t) = c_e m \frac{dT(t)}{dt} = C \frac{dT(t)}{dt} \quad (3)$$

Reemplazando (2) en (3):

$$\frac{Tf(t)-T(t)}{Rt} = C \frac{dT(t)}{dt} \quad (4)$$

$$Tf(t) - T(t) = RtC \frac{dT(t)}{dt} \quad (5)$$

$$Tf(t) = T(t) + RtC \frac{dT(t)}{dt} \quad (6)$$

$$Tf(s) = T(s) + RtCS T(s) \quad (7)$$

$$Tf(s) = T(s)(1 + RtCS) \quad (8)$$

$$\frac{T(s)}{Tf(s)} = \frac{1}{1+RtCS} \quad (9)$$

$$G(s) = \frac{1}{1+Ts} \quad (10)$$

En representación de estados y romanando $x(t)=T(t)$ se obtiene de la ecuación **(6)** lo siguiente:

$$\frac{dT(t)}{dt} = -\frac{T(t)}{RtC} + \frac{Tf(t)}{RtC} \quad (11)$$

$$\dot{x}(t) = -\frac{1}{RtC} x(t) + \frac{1}{RtC} Tf(t) \quad (12)$$

$$A = \left[-\frac{1}{RtC} \right] \quad B = \left[\frac{1}{RtC} \right] = C[1]x$$

$$T = RtC$$

5.3. MODELO DE INDUCCIÓN DEL MOTOR

Existe una similitud entre el motor de inducción y el transformador; cuando el transformador se alimenta con una corriente alterna por alguno de sus bornes (primario o secundario), estos inducen en el otro arrollamiento una tensión, definida como la relación entre el número de espiras del primario dividido entre el número de espiras del secundario.

$$\left(a = \frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s}\right)$$

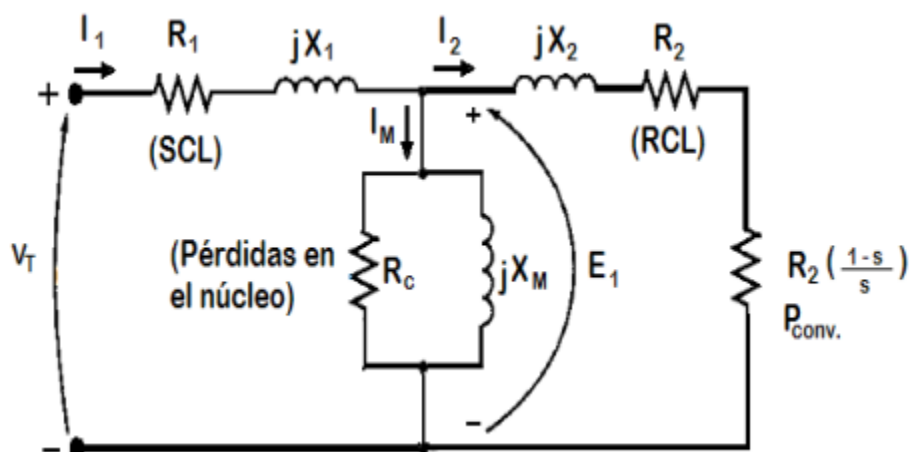
Cuando se conecta alguna carga a este, produce una corriente para alimentar dicha carga; esa misma condición aparece cuando en el motor se conecta una fuente de alimentación al estator y este produce una inducción de campo magnético que a su vez produce que circule una corriente por el rotor. Como el rotor se encuentra cortocircuitado, esa corriente produce un torque capaz de mover el rotor, la velocidad con la cual mueve el rotor es directamente proporcional a la corriente con que se alimenta, además de depender de sus parámetros internos.

Parámetros del motor:

A continuación se mostrara el modelo de motor de inducción y los elementos que lo componen

- V_T : Tensión en terminales del estator.
- I_1 : Corriente de línea.
- R_1 : Resistencia del estator.
- jX_1 : Reactancia de dispersión en el estator.
- I_m : Corriente de magnetización.
- E_1 : Perdidas en el núcleo
- R_c : Resistencia del núcleo.
- jX_m : Reactancia de magnetización.
- I_2 : Corriente rotórica.
- jX_2 : Reactancia de dispersión en el rotor.
- R_2 : Resistencia del rotor.

Figura 24: Modelo del motor de inducción.



Disponible en internet:

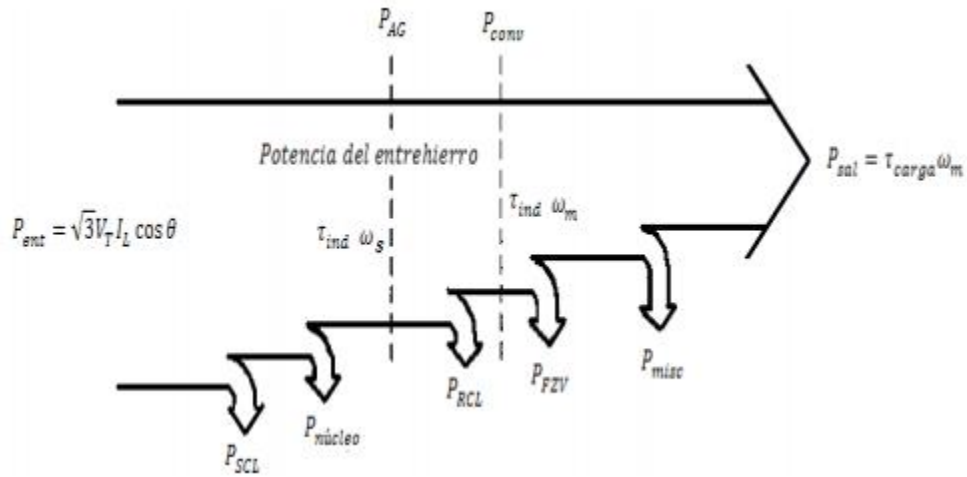
<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1775/1/621313M389.pdf>
(Consultado el 10 de Mayo de 2014).

En la Figura 1.6, se puede observar un modelo equivalente por fase del motor de inducción, donde se representa un conjunto de elementos los cuales determinan las potencias tanto eléctricas como mecánicas en el motor. Estas potencias son:

- P_{ent} : Potencia de entrada del motor.
- P_{SCL} : Perdidas en el cobre del estator.
- $P_{núcleo}$: Perdidas en el núcleo.
- P_{AG} : Potencia en el entrehierro.
- P_{RCL} : Perdidas en el cobre del rotor.
- P_{conv} : Potencia convertida.
- P_{FZV} : Perdidas por fricción y ventilación.
- P_{misc} : Perdidas misceláneas o rotacionales.
- P_{sal} : Potencia de salida del motor.

Lo anterior se muestra en la figura 16

Figura 25: Diagrama de potencias del modelo del motor de inducción.



Disponible en internet:

<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1775/1/621313M389.pdf>
(Consultado el 10 de Mayo de 2014).

La potencia de entrada (P_{ent}) al motor de inducción, definida a través de tensiones y corrientes trifásicas. Las primeras pérdidas que se encuentran en la máquina son las pérdidas $I^2 R$ en los devanados del estator (*pérdidas en el cobre del estator*, P_{SCL}). En seguida alguna cantidad de potencia se pierde por los ciclos de histéresis y las corrientes parásitas en el estator (P_{nucleo}).

La potencia que queda en este punto, se transfiere al rotor de la máquina a través del entrehierro entre el estator y el rotor (P_{AG}). Parte de la potencia transferida al rotor se pierde como $I^2 R$ (*pérdidas en el cobre del rotor*, P_{RCL}) y el resto se convierte en potencia mecánica (P_{conv}). Finalmente se tienen las pérdidas por fricción y ventilación (P_{FZV}) y pérdidas adicionales (P_{misc}); la potencia restantes es la potencia de salida del motor (P_{sal}).

Ecuaciones del motor de inducción:

El motor de inducción puede ser descrito según las siguientes ecuaciones que representan su comportamiento en todo momento. Estas ecuaciones son válidas siempre y cuando sea una máquina trifásica equilibrada.

$$V_S = R_S i_S + L_{SS} \frac{d}{dt} i_S + L_{SR(\theta)} \frac{d}{dt} i_R + \frac{\partial}{\partial \theta} L_{SR(\theta)} i_R \frac{d\theta}{dt}$$

$$V_R = R_R i_R + L_{RR} \frac{d}{dt} i_R + L_{RS(\theta)} \frac{d}{dt} i_S + \frac{\partial}{\partial \theta} L_{RS(\theta)} i_S \frac{d\theta}{dt}$$

En estas ecuaciones, \mathbf{V}_S representa a las tensiones en los terminales del estator y \mathbf{V}_R es la tensión en terminales del rotor que, para el caso del motor jaula de ardilla, es igual a cero. \mathbf{R}_S y \mathbf{R}_R son la representación matricial de las resistencias del estator y del rotor, respectivamente. Estas matrices son:

$$\mathbf{R}_S = \begin{bmatrix} R_S & 0 & 0 \\ 0 & R_S & 0 \\ 0 & 0 & R_S \end{bmatrix}, \quad \mathbf{R}_R = \begin{bmatrix} R_R & 0 & 0 \\ 0 & R_R & 0 \\ 0 & 0 & R_R \end{bmatrix}$$

\mathbf{L}_{SS} y \mathbf{L}_{RR} , representan matricialmente las inductancias propias del estator y el rotor, respectivamente.

$$\mathbf{L}_{SS} = \begin{bmatrix} L_S & M_S & M_S \\ M_S & L_S & M_S \\ M_S & M_S & L_S \end{bmatrix}, \quad \mathbf{L}_{RR} = \begin{bmatrix} L_R & M_R & M_R \\ M_R & L_R & M_R \\ M_R & M_R & L_R \end{bmatrix}$$

$\mathbf{L}_{SR(\theta)}$ y $\mathbf{L}_{RS(\theta)}$, representan matricialmente las inductancias mutuas entre el estator y el rotor dependientes del ángulo θ . Pueden ser calculadas por:

$$\mathbf{L}_{SR(\theta)} = M_{SR} \begin{bmatrix} \cos\theta & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta + \frac{4\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta + \frac{4\pi}{3}\right) & \cos\theta & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta + \frac{4\pi}{3}\right) & \cos\theta \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{L}_{SR(\theta)} = \mathbf{L}_{RS(\theta)}^t$$

También se puede representar el motor en régimen permanente, en función del deslizamiento como se mostró en la sección.

5.4. MODELO DE CONTROL

Un sistema de control está definido como un conjunto de componentes que pueden regular su propia conducta o la de otro sistema con el fin de lograr un funcionamiento predeterminado, de modo que se reduzcan las probabilidades de fallos y se obtengan los resultados buscados; el actual proyecto se desarrolla con un diseño de control desacoplado.

En un sistema de control es valida la sintonización si las interacciones no son muy fuertes, El desacoplamiento permite trabajar con el sistema como si fuera SISO, donde el objetivo es Eliminar o reducir las interacciones de cada variable de entrada con las variables de salida distintas de la que controla.

FIGURA 26: Diagrama de bloques control en desacople.

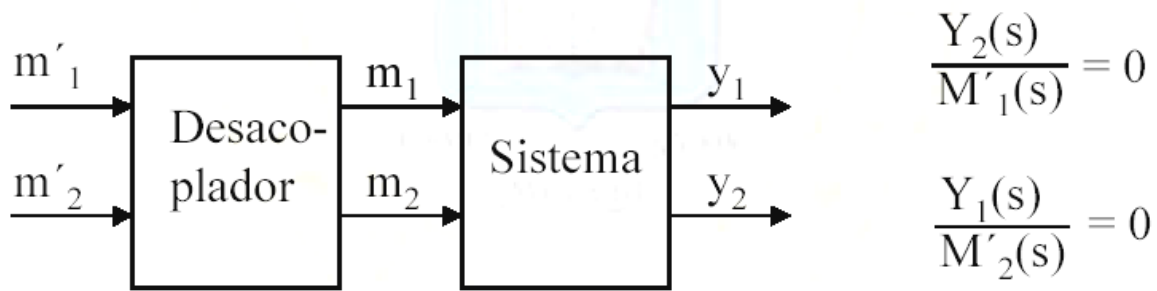


FIGURA 27: configuración control en desacople

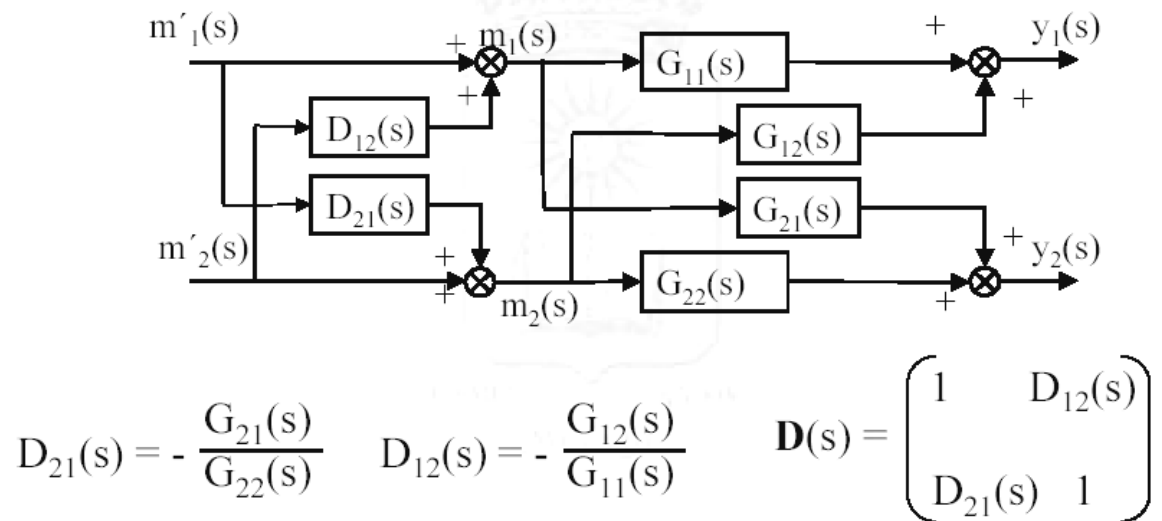


FIGURA 28: Matriz de desacople

$$\mathbf{G}(s)\mathbf{D}(s) = \begin{pmatrix} \frac{G_{11}(s)}{\lambda_{11}(s)} & 0 \\ 0 & \frac{G_{22}(s)}{\lambda_{22}(s)} \end{pmatrix}$$

Las fdt de las ganancias relativas pueden aproximarse sin problema a su ganancia relativa estática

$$\lambda_{ii}(s) \cong \lambda_{ii}$$

Luego considerando el controlador sobre el lazo simple, bastará con multiplicar su ganancia por

$$\lambda_{ii}$$

En este tipo de control se pueden encontrar desacopladores no realizables como se muestra en la figura número

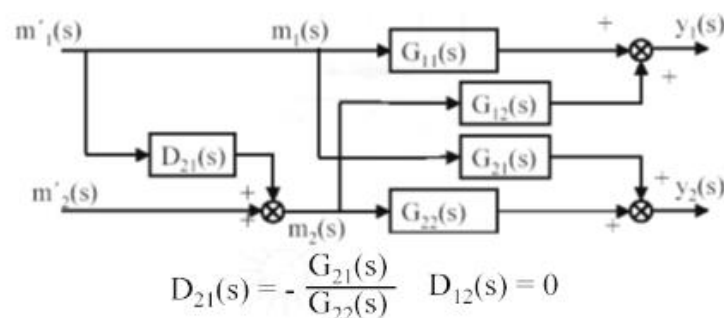
$$D_{21}(s) = - \frac{K_{21}(t_{22}s+1)}{K_{22}(t_{21}s+1)} e^{-(t_{m21}-t_{m22})s}$$

También se debe considerar los errores en el modelado pueden afectar gravemente a la estabilidad y comportamiento del sistema. Por ello es desaconsejada la utilización de desacopladores cuando tenemos ganancia relativa elevada.

5.4. DESACOPLAMIENTO LINEAL PARCIAL

En el tipo de control de desacoplamiento lineal parcial encontramos que la sintonización del lazo de control de la variable importante es independiente de las otras fdt del sistema. (Son perturbaciones), así mismo la sintonización de los otros lazos de control dependerá del resto de fdt del sistema ajenas al lazo principal donde el desacoplo es mucho menos sensible a los errores en el modelo por lo que está más extendido y el principal objetivo es eliminar o reducir la interacción mediante el desacoplo de la salida más importante del resto de las entradas.

FIGURA 29: Configuración desacople parcial



6. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

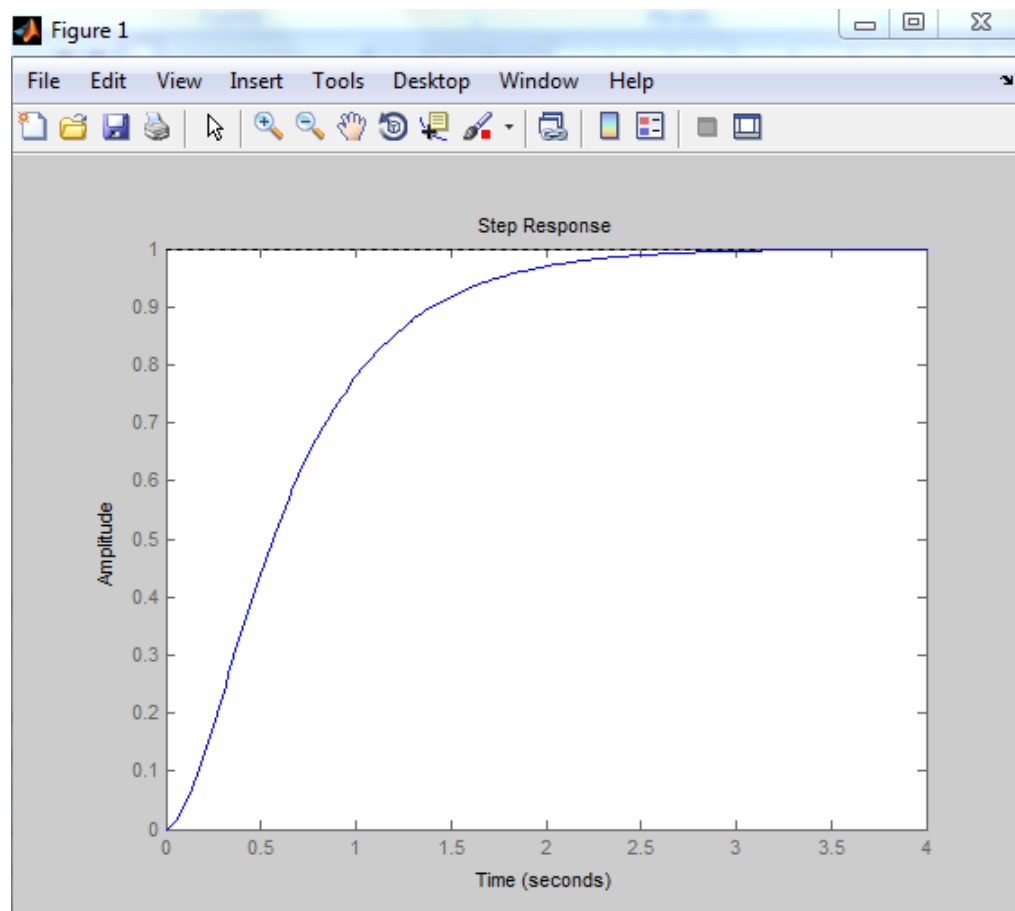
6.1. CONFIABILIDAD

El diseño de la rotomoldeadora será de alta confiabilidad ya que se realizarán simulaciones de esfuerzo y fatiga en el programa SolidWorks® que es de alta veracidad y proporciona datos en tiempo real y se podrá determinar el comportamiento de la máquina cuando esta esté operando para diferentes tipos de materiales, tiempos, velocidades y con o sin variaciones de temperatura, además de que una vez hallados los puntos de operación de la rotomoldeadora se fijarán parámetros seguros de operación, para ajustarlos dentro de las simulaciones realizadas en MATLAB®.

6.1.1. RESPUESTAS DE LA PLANTA

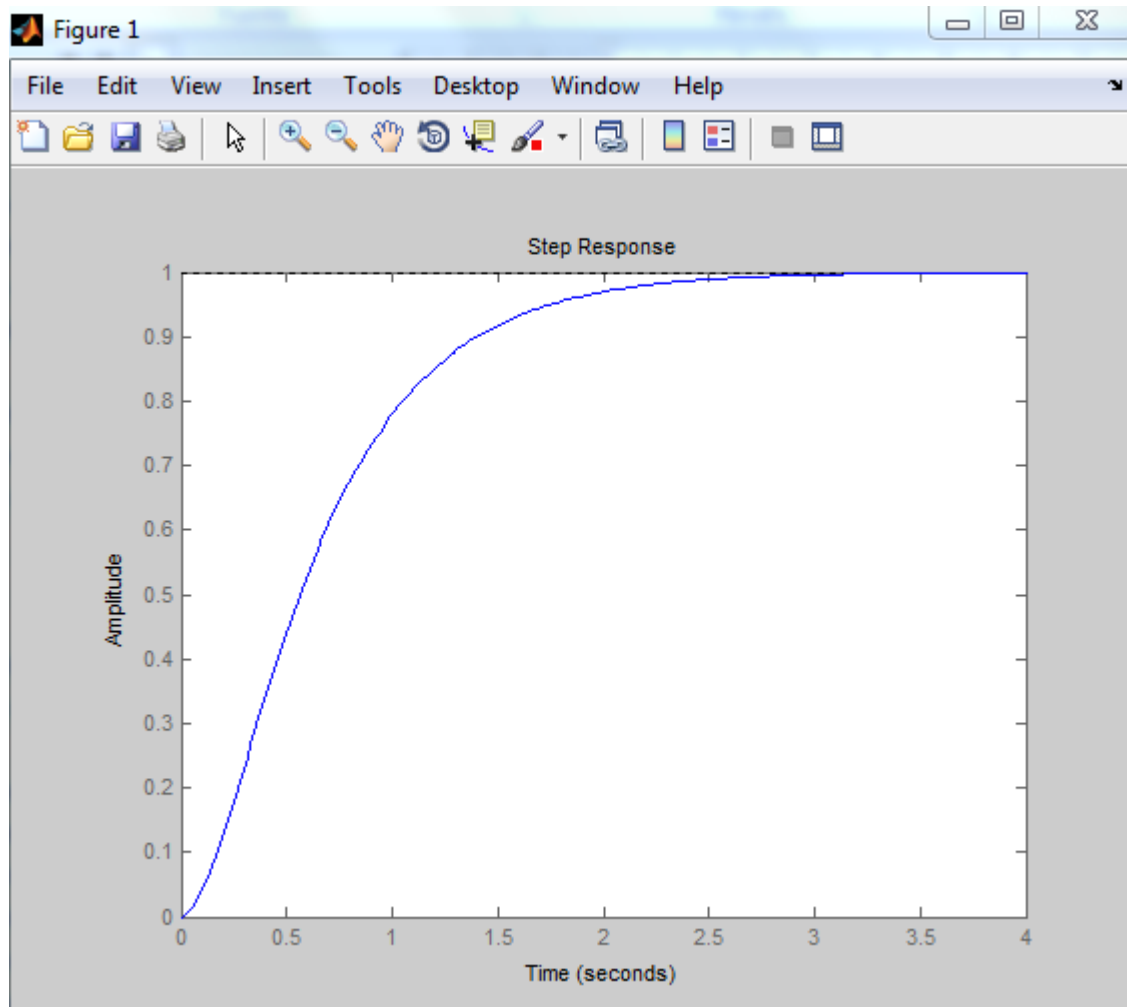
- Respuesta de la planta de temperatura

FIGURA 30: Grafica planta temperatura.



- Respuesta de la planta del motor

FIGURA 31: Grafica planta motor.



6.1.2. SIMULACIÓN DE ESFUERZOS

Figura 32: Curva fuerza de torsión a 40 RPM.

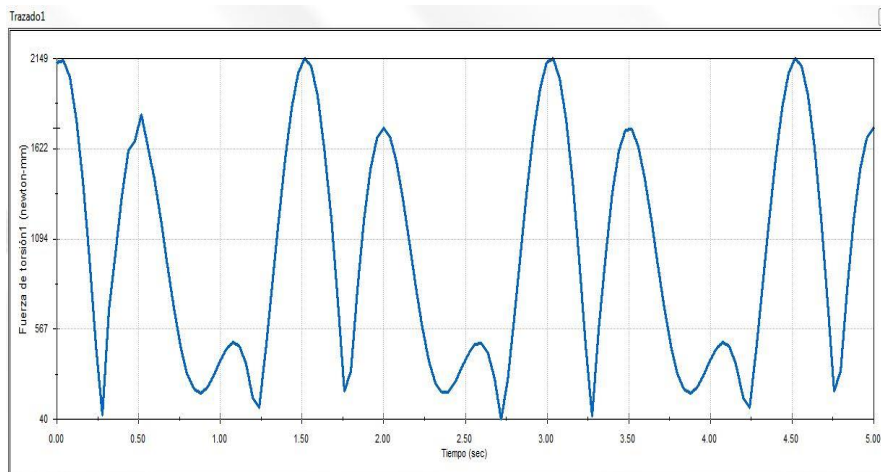


Figura 33: definición de las fuerzas a un ensamble giro en el eje X a 40 RPM.

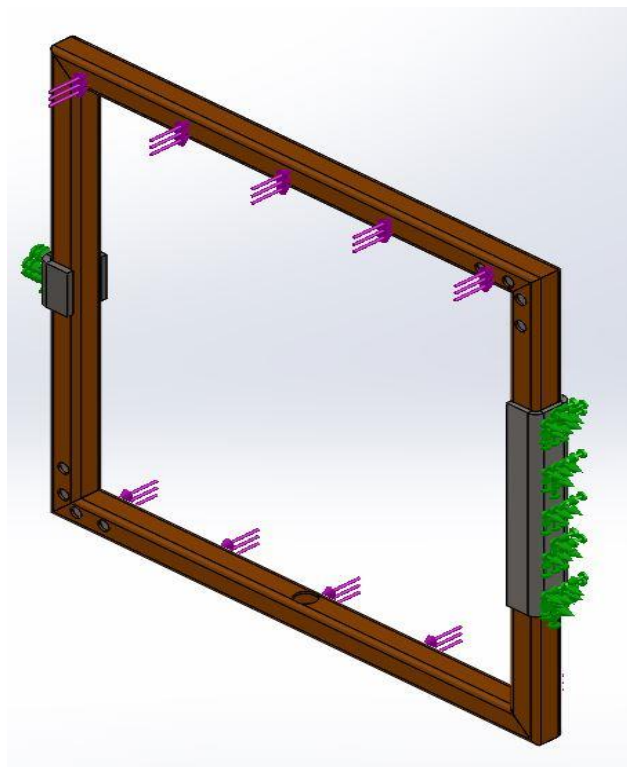


Figura 34: definición de las fuerzas a un ensamble giro en el eje Y a 40 RPM.

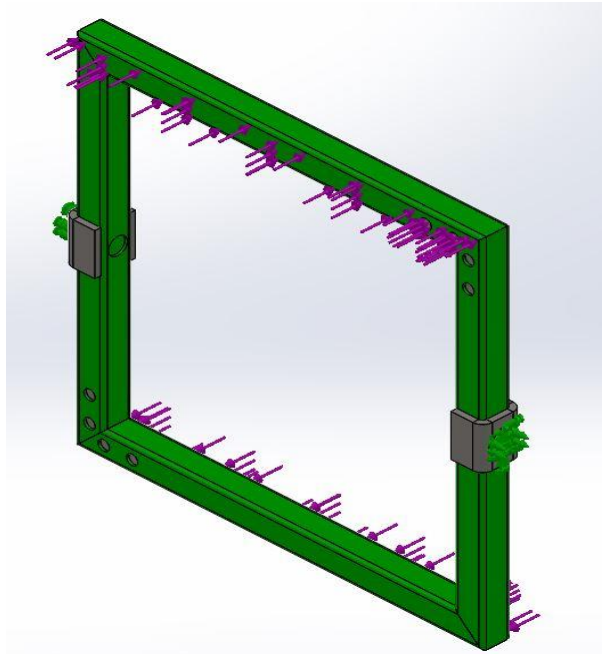


Figura 35: definición de las fuerzas a chasis principal a 40 RPM.

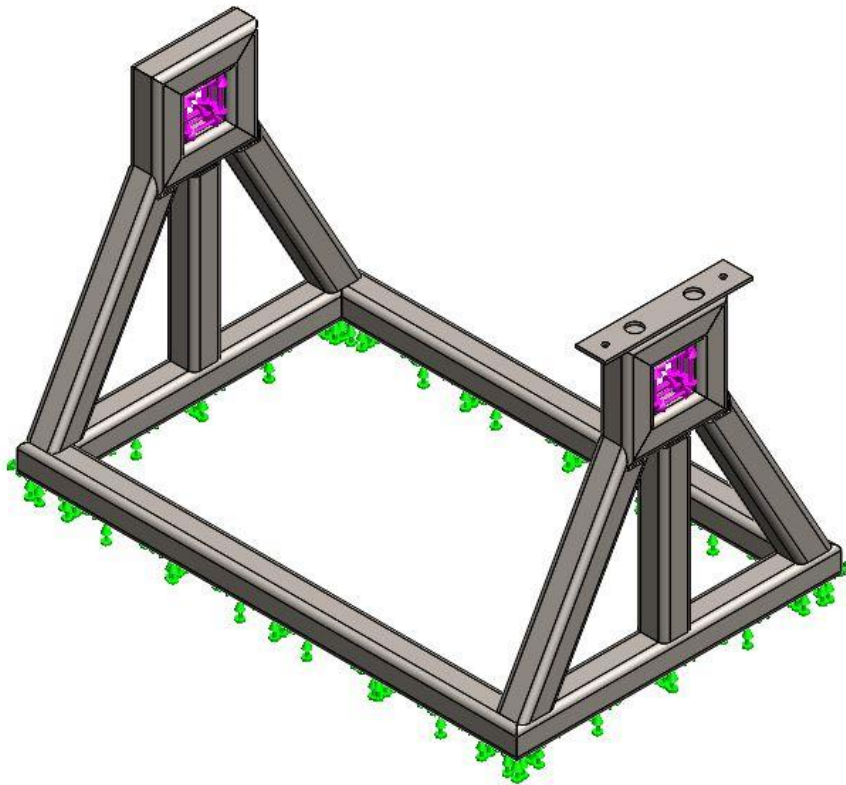


Figura 36: definición de las fuerzas a ensamble eje giro a 40 RPM.

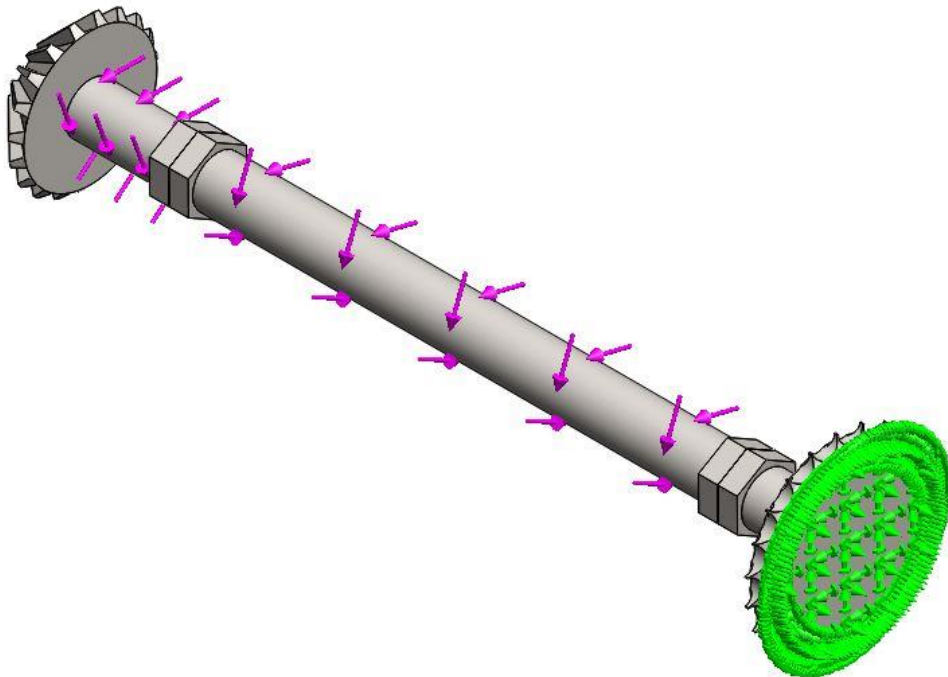
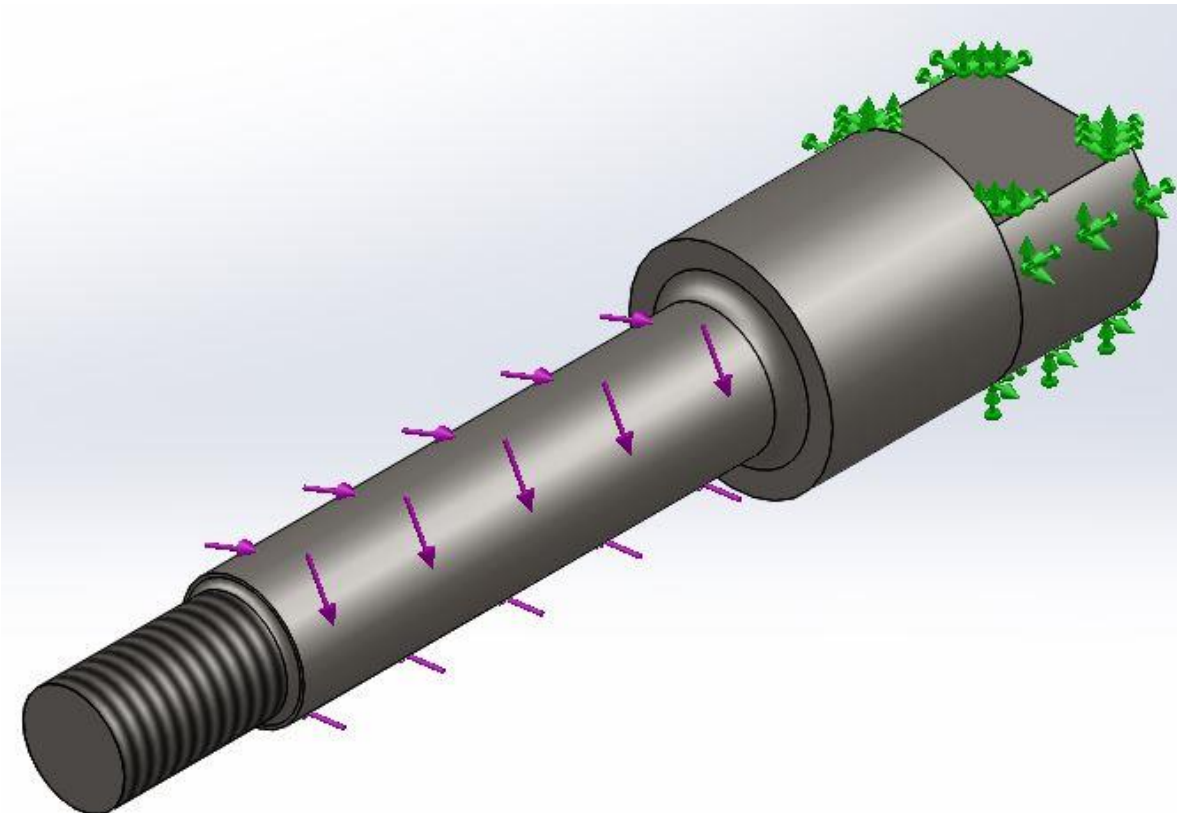


Figura 37: definición de las fuerzas a eje principal a 40 RPM.



6.2. DISCUSIÓN

Dentro de las simulaciones realizadas en el software MATLAB® se encuentra que el sistema llega a los puntos de que se determinan y se puede observar las respuestas a la entrada de un escalón.

FIGURA 38: Diseño PID

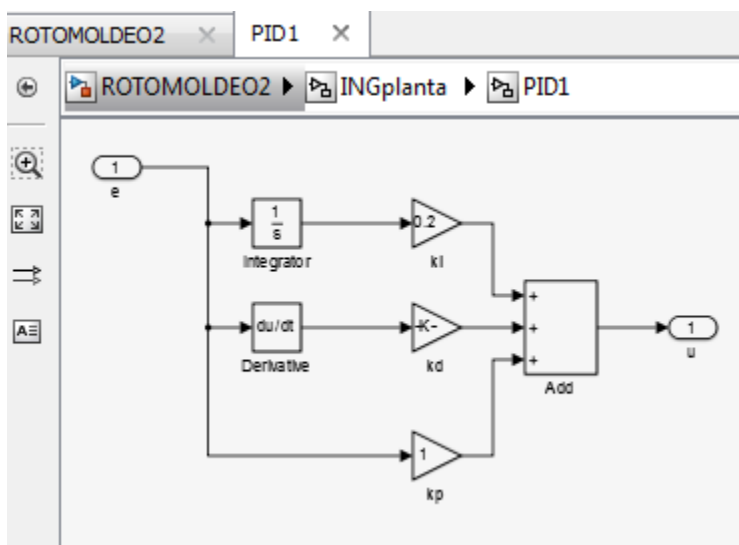


FIGURA 39: Diseño control en desacople.

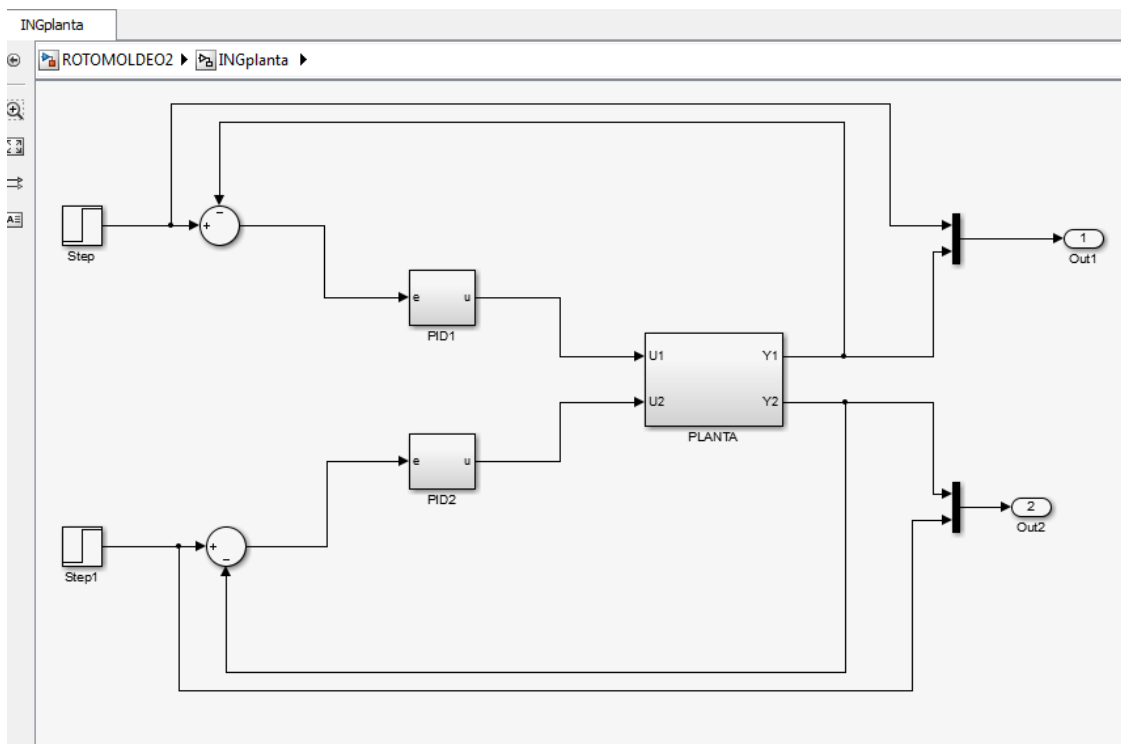
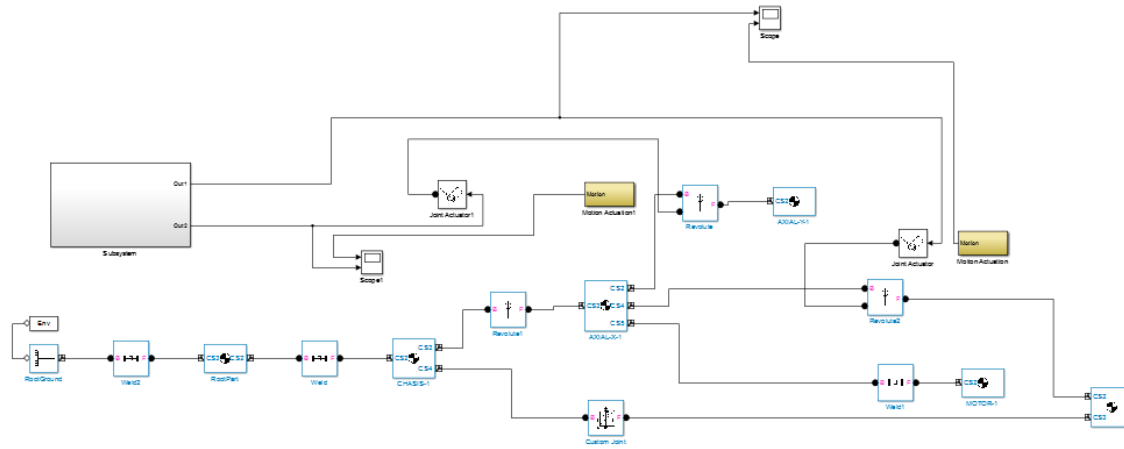


FIGURA 40: Diagrama de bloques en simulink®.



También se puede apreciar como con el sistema de control desacoplado y los PID diseñados para cada planta se nota una diferencia en su respuesta para alcanzar la referencia.

FIGURA 41: Respuesta del sistema de temperatura con el controlador.

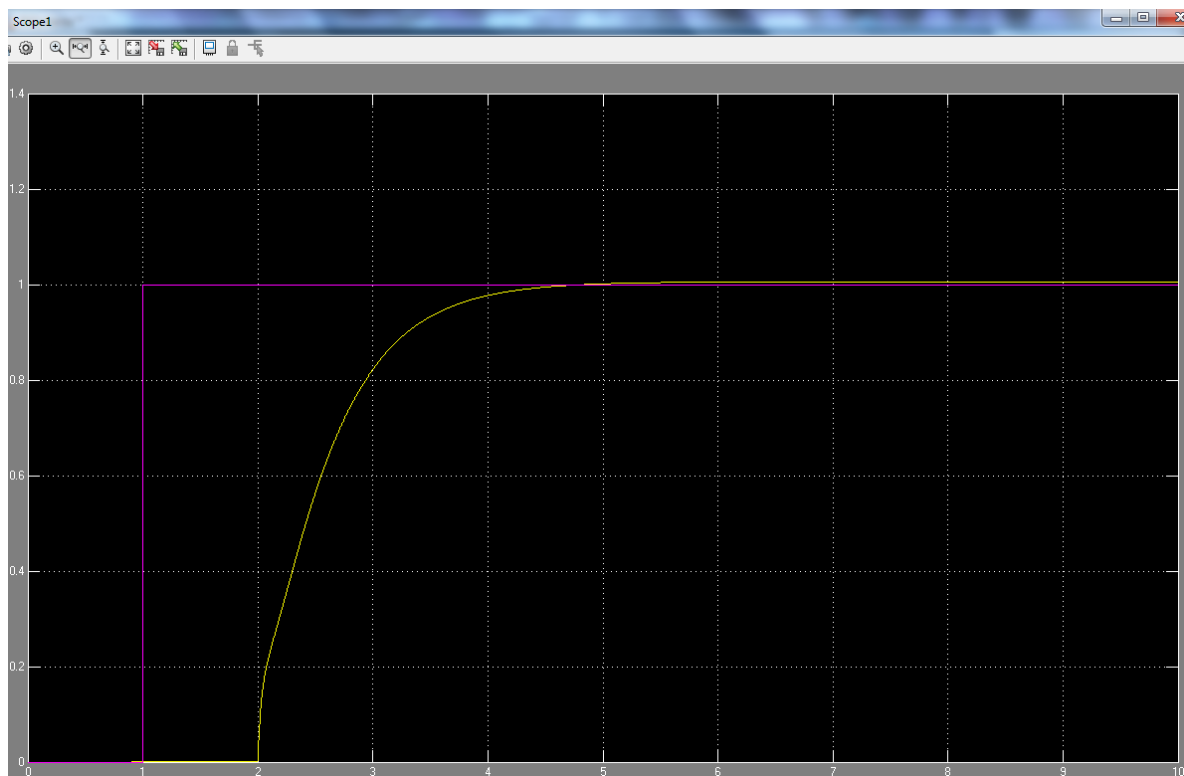
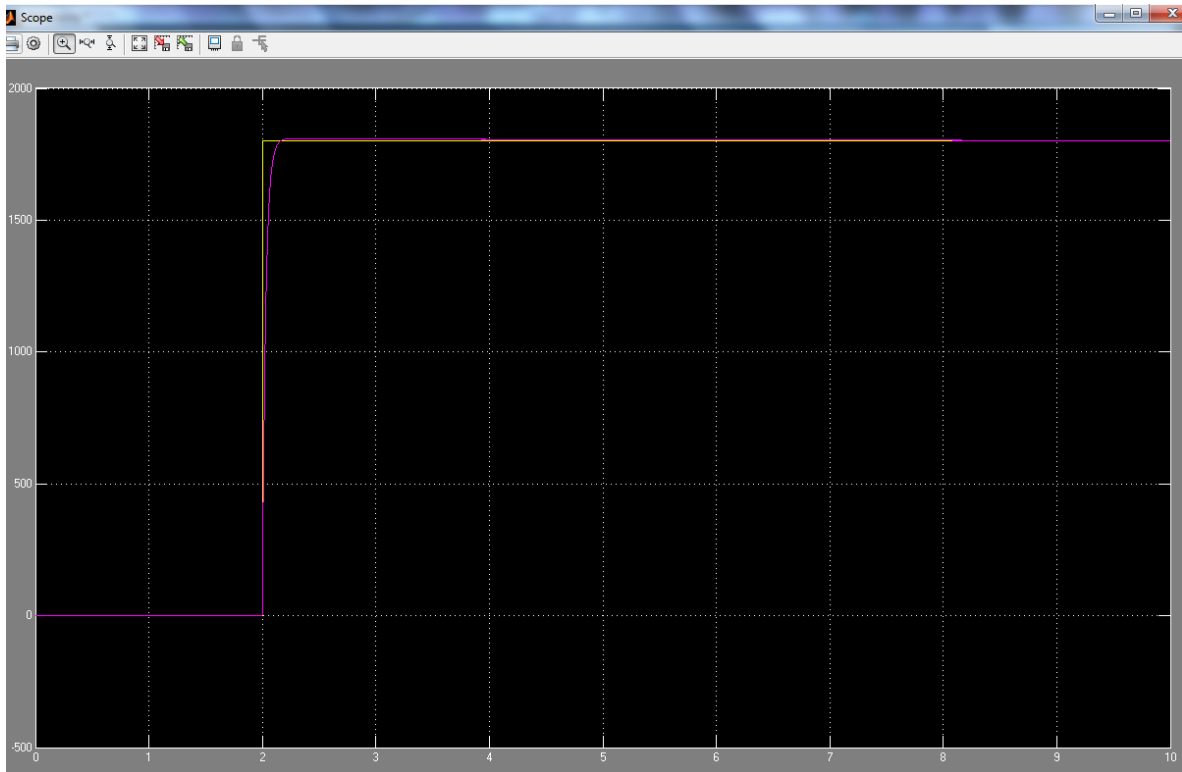


FIGURA 42: Respuesta del sistema del motor con el controlador.



6.3. CONCLUSIÓN

A partir de los resultados de este proyecto se logra determinar que los objetivos planteados se lograron cumplir, dentro del análisis de esfuerzos y respuestas a un control los parámetros prioritarios de este proyecto no solo se determinan por puntos de operación que en otras palabras son los límites que la configuración propia del diseño en 3D permite para el control que se determinó para este proyecto.

También se puede concluir que:

- Una resistencia de mayor capacidad al entregar energía calorífica mayor a 900 grados centígrados no es funcional ya que el tamaño de la maquina no permite manejar dimensiones que ameriten una mayor energía.
- Un motor con alta capacidad de torque superior a la necesaria en el proceso solo se justifica si las dimensiones de la maquina fueran mayores.
- La dimensión de la maquina influye altamente en la capacidad de piezas y tipos de molde a sí mismo como en sus componentes a controlar y que ejercen una reacción a las variables a controlar.

- Un buen diseño en 3D permite adelantarse a problemas que solo en la construcción se percatarían.
- Tener en cuenta el procedimiento de construcción de la maquina permite visualizar mejor la configuración de los componentes.
- El método de investigación y análisis que se empleó para este proyecto se puede aplicar para cualquier diseño y aplicación de control solo depende de conocer los parámetros entender los procesos que ejecutara la máquina y las fuerzas que estas soportaran.

6.4. RECOMENDACIONES

A las personas interesadas en fabricar una rotomoldeadora a partir de este diseño se recomienda encontrar un motor con el mínimo torque de 2149 N/mm ya que es el pico máximo de esfuerzo arrojado en las simulaciones realizadas hasta el momento.

Aparte debe documentarse muy bien en el tipo de materiales que debe adquirir para la fabricación de los plásticos que se pueden fabricar con la técnica de rotomoldeo, teniendo en cuenta la pieza final que quiera tener.

También debe tener la claridad sobre los tipos de molde en cuanto a material del mismo se requiere teniendo en cuenta la materia prima con la que se decida o necesite implementar.

Antes de fabricar verificar el control de las variables de manera independiente, probar primero con una pieza, si se obtiene un molde para múltiples piezas verificare de manera que en el molde se fabrique con las cavidades externas, después con las internas, observando la diferencia de tiempos.

Documentarse acerca de los diferentes tipos de limpiadores para el exceso de MP en los moldes.

Para las pequeñas microempresas se recomienda también iniciar con el diseño mecánico y electrónico sin incluir la etapa de control ya que esto aunque desde el punto de vista costo beneficio está dentro de los parámetros adecuados, genera un elevado costo de operación, costo que si es asequible para las grandes empresas que deseen implementarlo dentro de su línea de producción.

6.5. TRABAJOS FUTUROS

- Incluir una estructuración de productos donde se determinen la fabricación de la maquina por puestos de trabajo determinando los materiales que deben estar listos para su operación en determinado puesto.
- Incluir en los planos los refuerzos longitudinales y transversales que se incluyeron para simulación de esfuerzos.
- Incluir un diseño con reductores de velocidad con una configuración de poleas para la implementación de motores de mayor asequibilidad económica.
- Diseñar un sujetador de moldes para que los moldes no incluyan esa configuración y sean más baratos al momento de desarrollarlos.
- Construir la máquina para su implementación a un mercado o industria.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] QuimiNet. Tomado el día 05 de noviembre de 2013, disponible en internet: <http://www.quiminet.com/articulos/como-funcionan-las-maquinas-rotomoldeadoras-2585019.htm>
- [2] Tomado el día 07 de septiembre de 2013, disponible en internet: http://ce.azc.uam.mx/profesores/carr/labim/practica%206/tabla_propiedades_rt.pdf
- [3] SOLIDWORKS. Tomado el día 08 de septiembre de 2013, disponible en internet: <http://www.solidworks.es/>
- [4] Juan Lorca Maturana. Tomado el día 07 de septiembre de 2013, disponible en internet: <http://www.mailxmail.com/curso-soldadura-arco-manual-electrico-fundamentos/posicion-soldadura-tipos-soldaduras>
- [5] Andrés Obispo Micro-log Tecnología y Sistemas S.L. Tomado el día 08 de septiembre de 2013, disponibles en internet: http://www.microlog.net/mininoticias/esfuerzos_mecanicos_microlog.pdf
- [6] Tomado el día 08 de septiembre de 2013, disponible en internet: http://www.engracor.com.ar/engracor/info_06.htm
- [7] Tomado el día 06 de septiembre de 2013, disponible en internet: <http://www.textoscientificos.com/polimeros/moldeado>
- [8] Tomado el día 04 de enero de 2014, disponible en internet: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/rotomoldeo.html>
- [9] Tomado el día 04 de enero de 2014, disponible en internet: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/12/rotomoldeo-ii.html>
- [10] TERCESA S.L. Tomado el día 04 de mayo de 2013, disponible en internet: http://www.tercesa.com/brushless_asincronos_cc.htm
- [11] John Derrick. Tomado el día 04 de mayo de 2014, disponible en internet: http://www.ehowenespanol.com/clasificacion-del-aluminio-segun-dureza-info_214825/
- [12] Tomado el día 11 de mayo de 2014, disponible en internet: <http://www.buenastareas.com/ensayos/Resistencia-De-Calefaccion/5964901.html>
- [13] Prodescom Rotomoldeo. Tomado el día 11 de mayo de 2014, disponible en internet: <http://rotomoldeo-prodescom.com/plasticos-rotomoldeo.html>
- [14] Julio Garavito. Escuela Colombiana de Ingeniería. PLÁSTICOS PROTOCOLO Curso de Procesos de Manufactura. Tomado el día 11 de mayo de 2014, disponible en internet: http://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/2734_plimeros.pdf
- [15] Jiong Yu y Eric Wallis. Información Técnica y de la Industria Plástica en América Latina. Tomado el día 13 de abril de 2014, disponible en internet: <http://www.plastico.com/temas/Desarrollos-recientes-en-aditivos-de-alto-desempeno-para-rotomoldeo+3074619?tema=3661000&pagina=3>
- [16] ING MsC SIGILFREDO ARREGOCES Control de Procesos Industriales Sistemas Térmicos
- [17] Alber Posada Automatización de la operación de una maquina ensambladora de bebederos tipo nipples para el proceso de la empresa avicorvi S.A.S.

- [18]Universidad de Castilla-La Mancha control electrónico de motores ca Tomado el día 13 de abril de 2014, disponible en internet: <http://oretano.iele-ab.uclm.es/~mhidalgo/temas/tema4/Tema4.pdf>
- [19]Rafael Ramos Lara Sistemas Digitales De Instrumentación y control, Tomado el día 13 de abril de 2014, disponible en internet: <http://upcommons.upc.edu/e-prints/bitstream/2117/6123/1/TEMA6.pdf>
- [20] Felipe A. Marulanda, Julián Andrés Herrera, control de velocidad de un motor de inducción por el método de control vectorial utilizando el software de simulación simulink de MATLAB, Tomado el día 13 de abril de 2014, disponible en internet: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1775/1/621313M389.pdf>

8. ANEXOS

Figura 43: Simulación de análisis de tensión estructura rotación en eje X, con escala de deformación de 26,2874

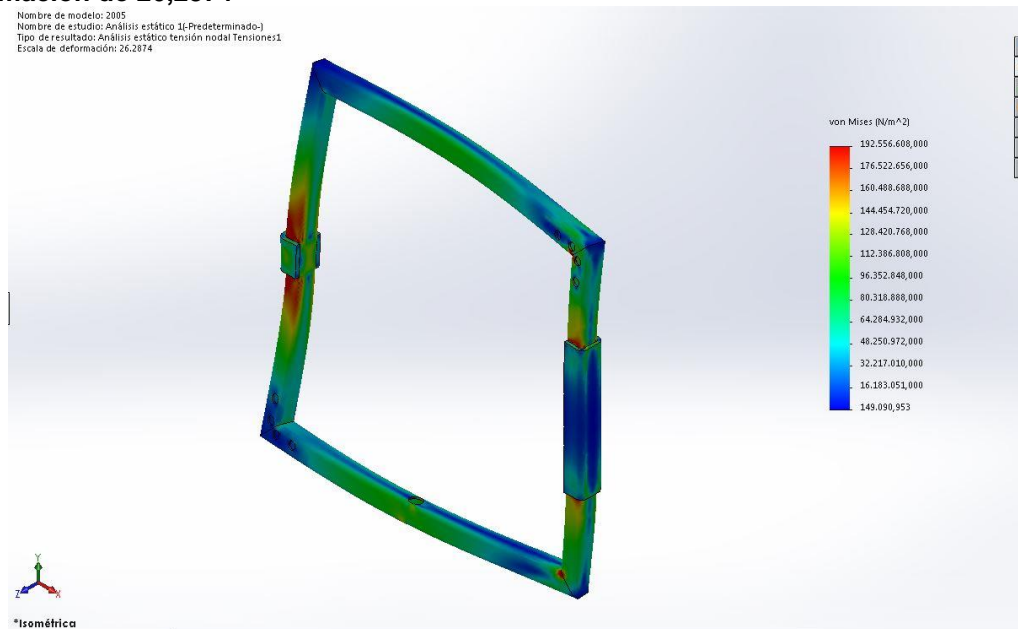


Figura 44: Simulación de análisis de tensión estructura rotación en eje Y, con escala de deformación de 26,2874.

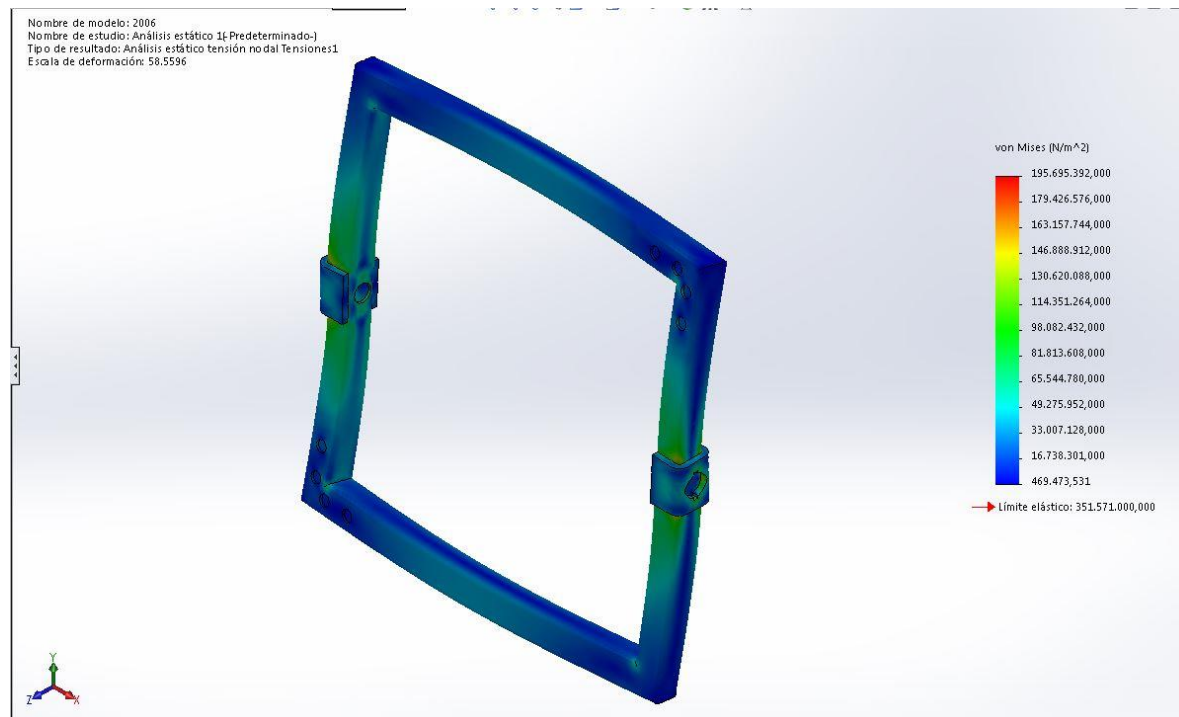


Figura 45: Simulación de análisis de tensión chasis principal escala de deformidad 1.

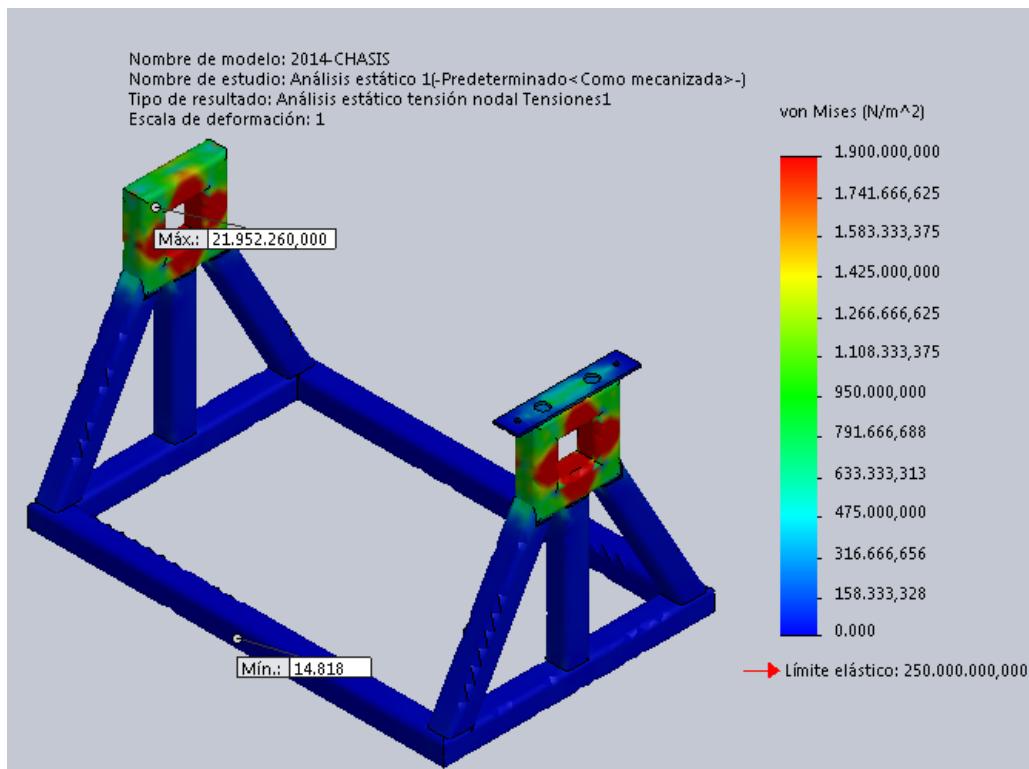


Figura 46: Simulación de análisis de tensión ensamble eje giro escala de deformidad 1.

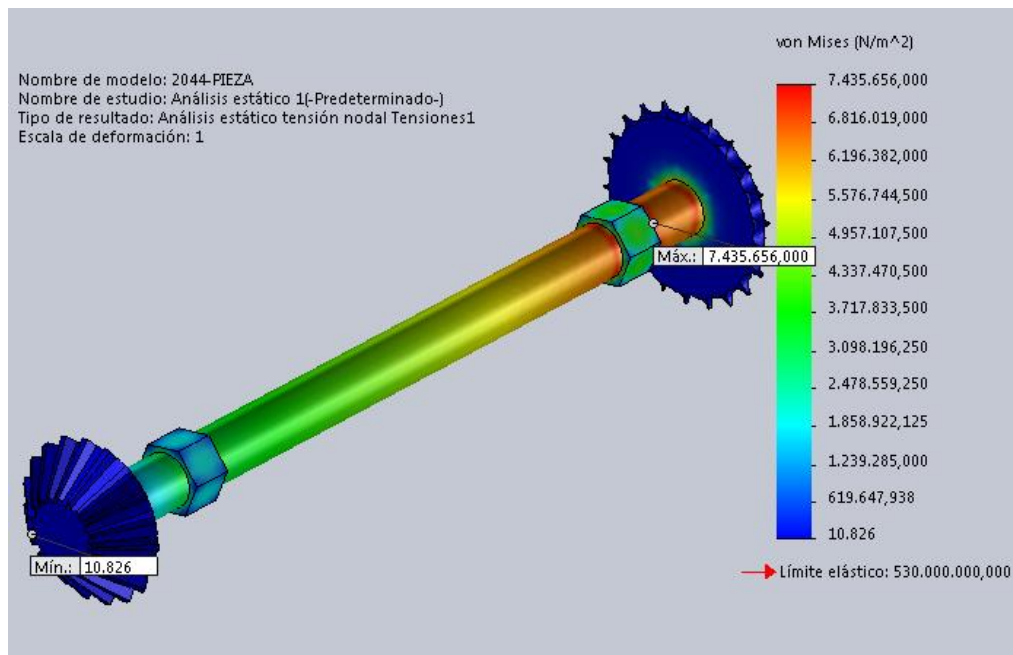


Figura 47: Simulación de análisis de tensión eje principal escala de deformidad 1.

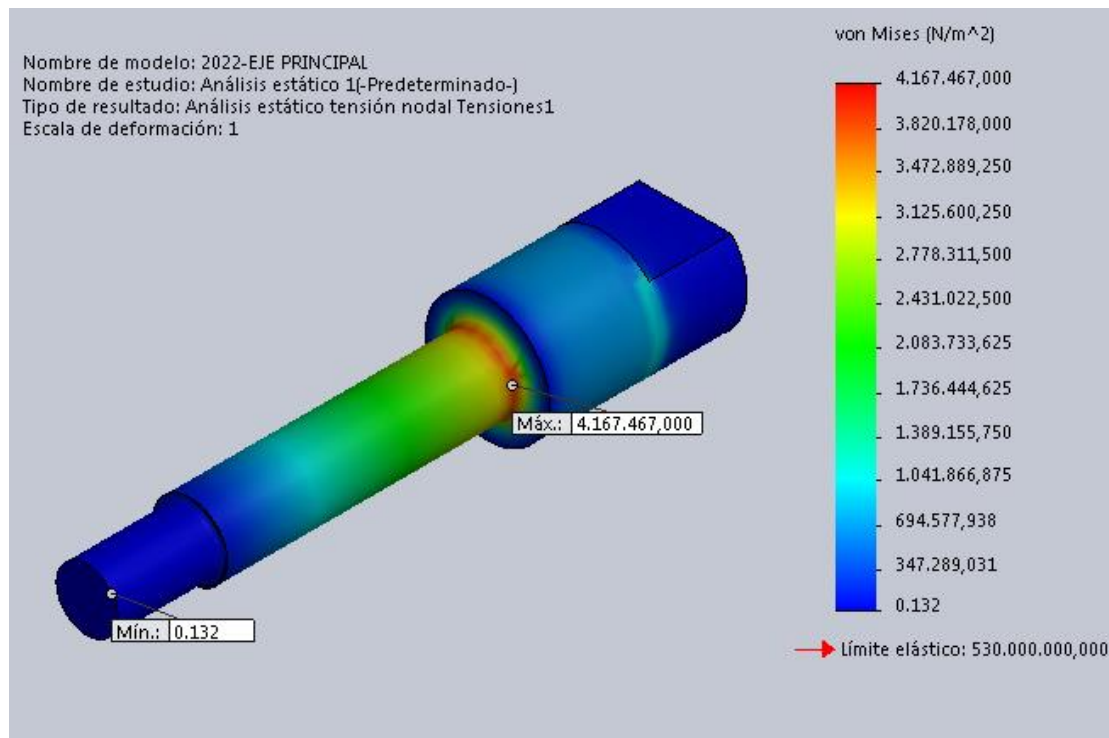


Figura 48: Simulación de análisis de desplazamiento estructura rotación en eje X, con escala de deformación de 26,2874.

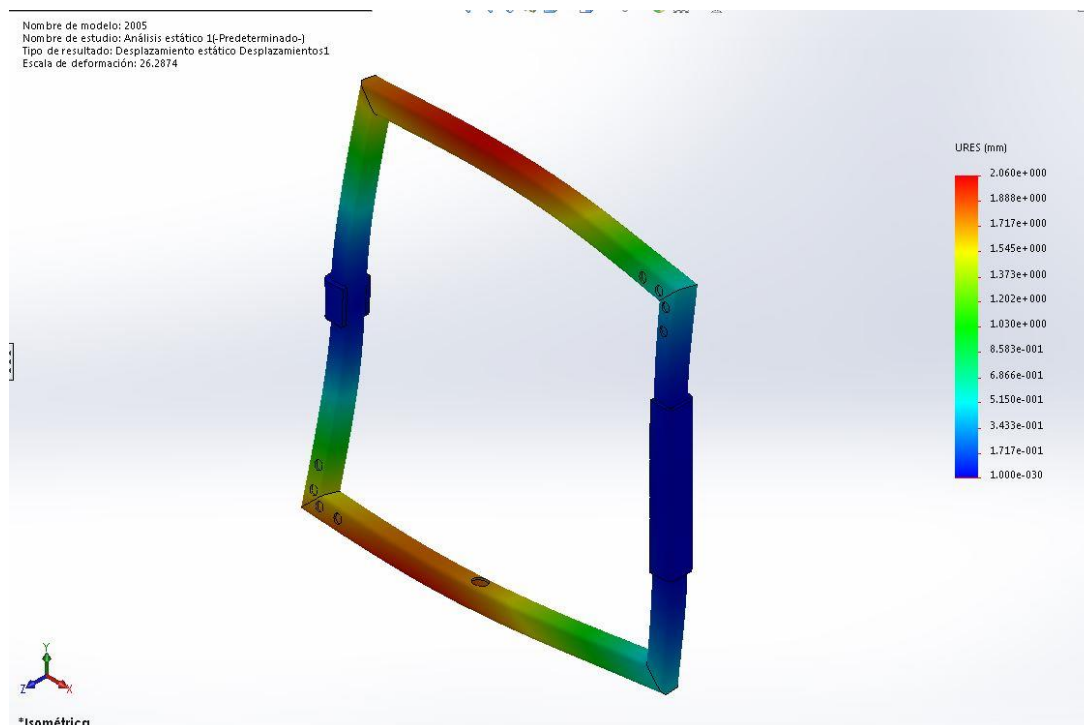


Figura 49: Simulación de análisis de desplazamiento estructura rotación en eje Y, con escala de deformación de 26,2874.

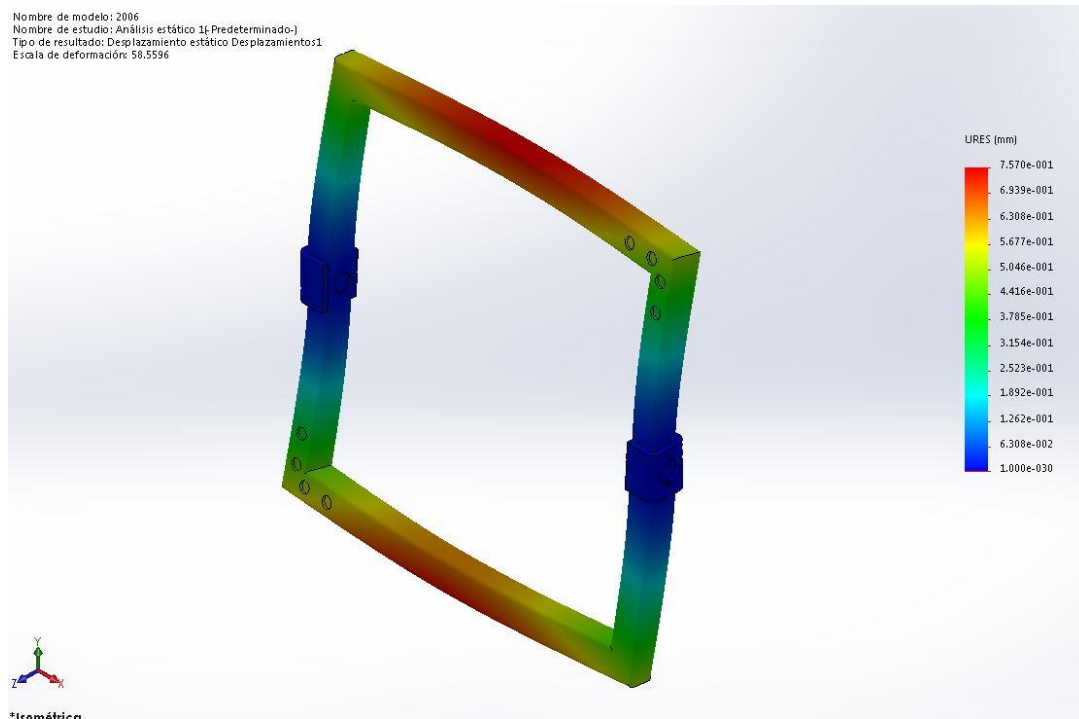


Figura 50: Simulación de análisis de desplazamiento chasis principal escala de deformidad 1.

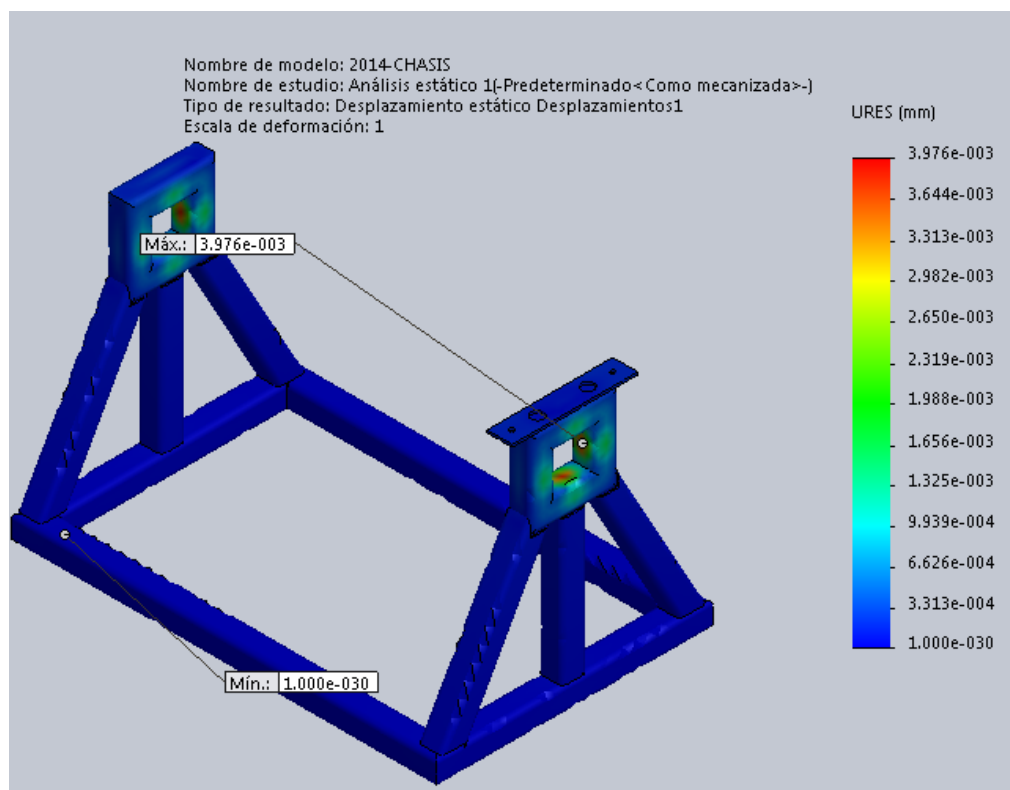


Figura 51: Simulación de análisis de desplazamiento ensamble eje giro escala de deformidad 1.

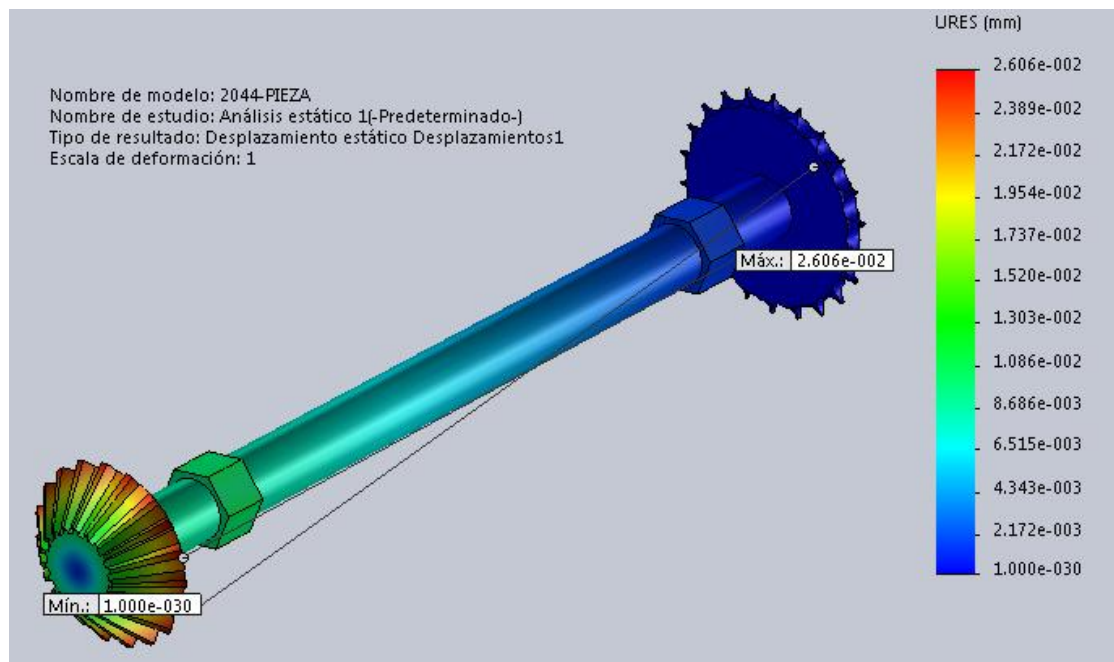


Figura 52: Simulación de análisis de desplazamiento ensamble eje principal escala de deformidad 1.

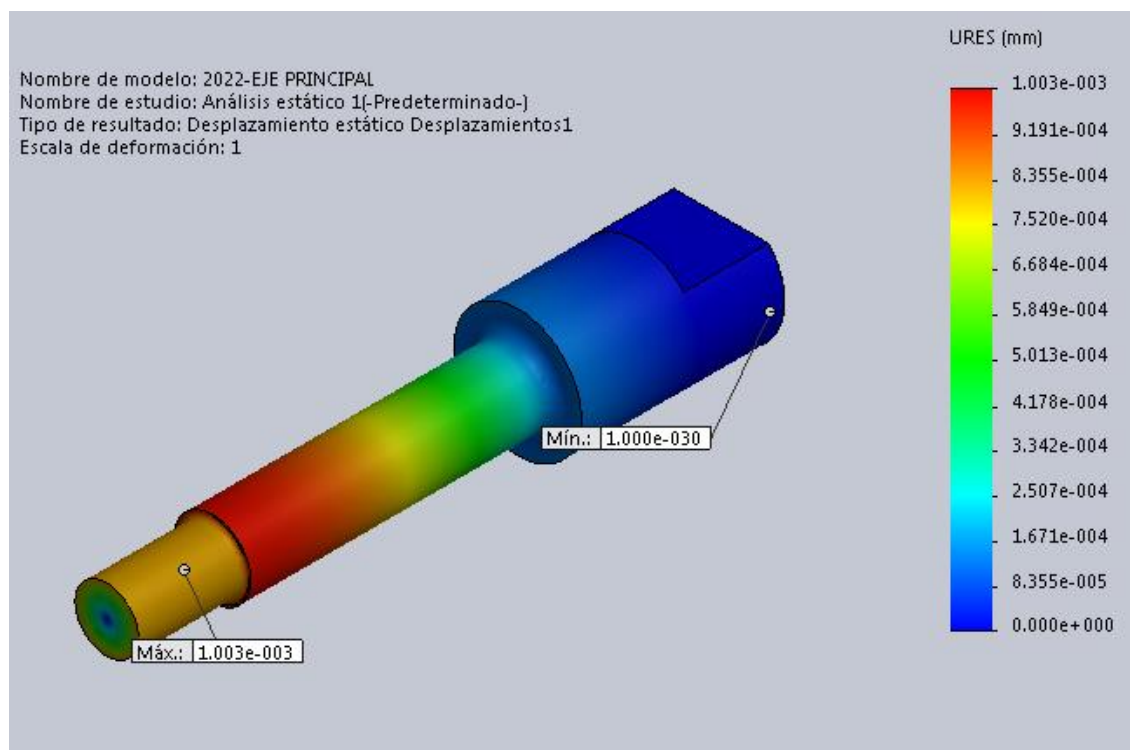


Figura 53: Simulación de análisis de factor de seguridad estructura rotación en eje X.

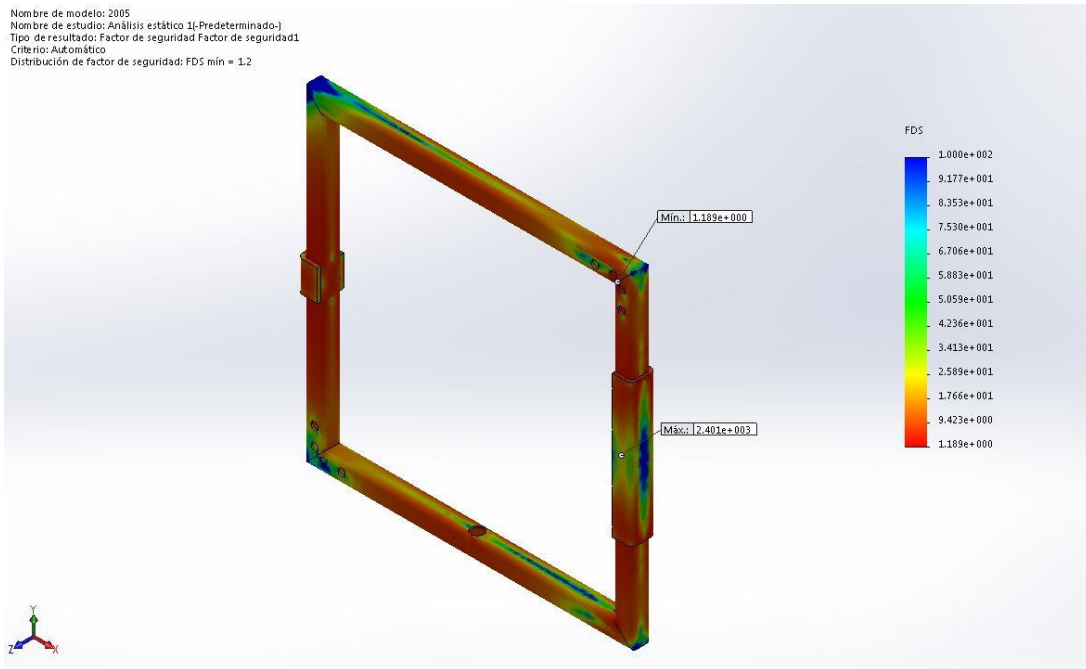


Figura 54: Simulación de análisis de factor de seguridad estructura rotación en eje Y.

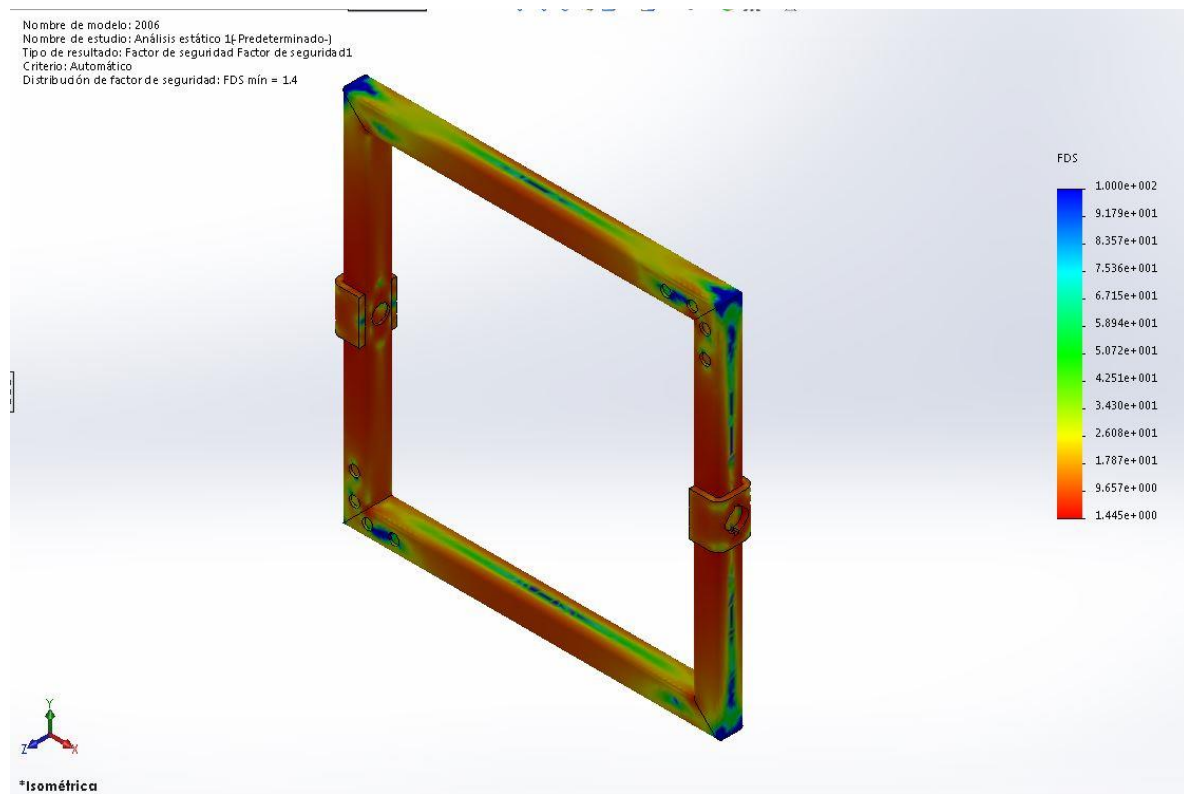


Figura 55: Simulación de análisis de factor de seguridad chasis principal.

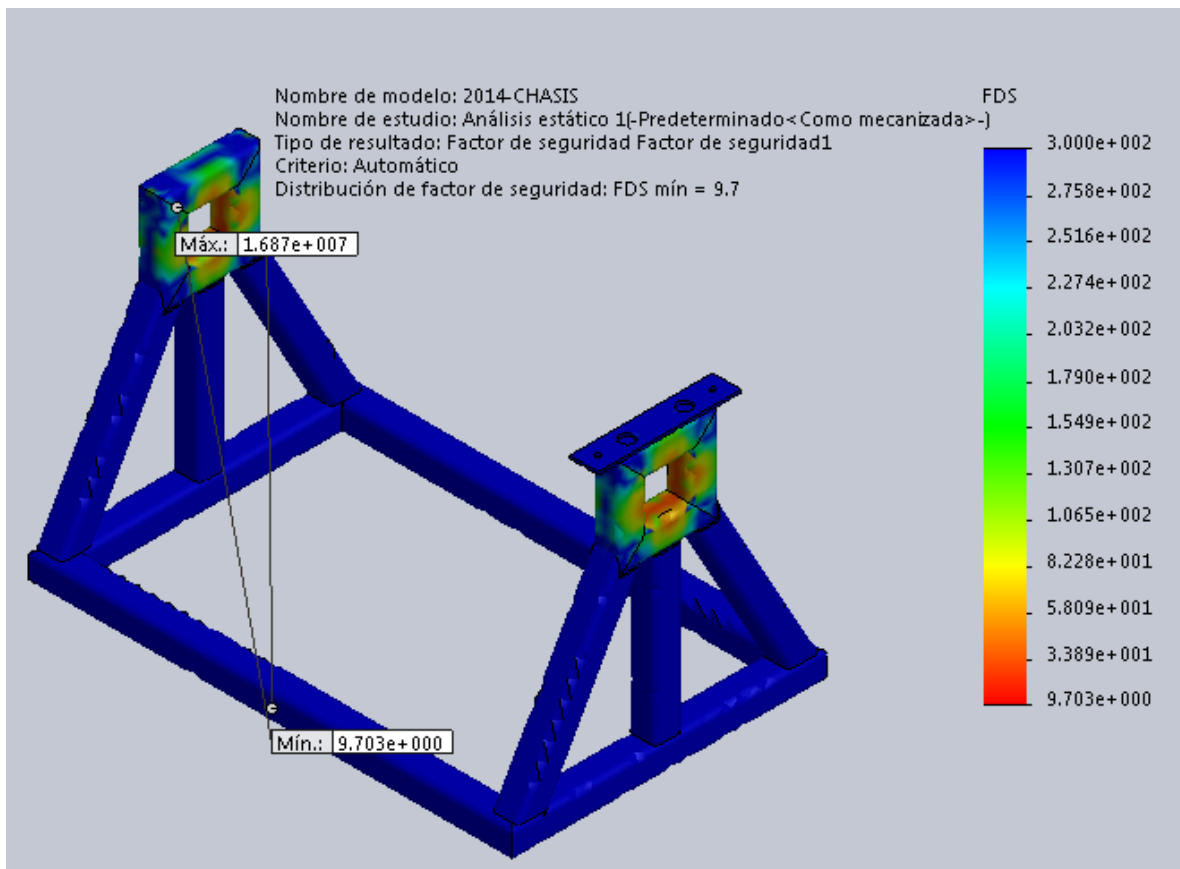


Figura 56: Simulación de análisis de factor de seguridad ensamble eje giro.

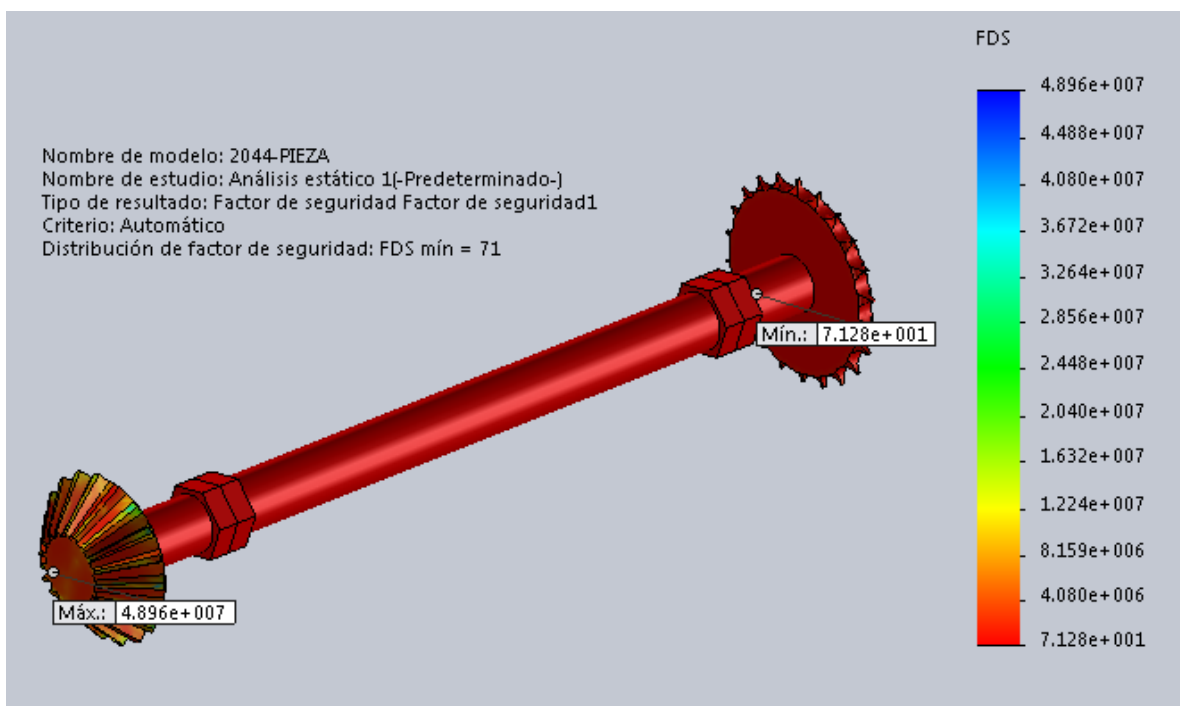


Figura 57: Simulación de análisis de factor de seguridad eje principal.

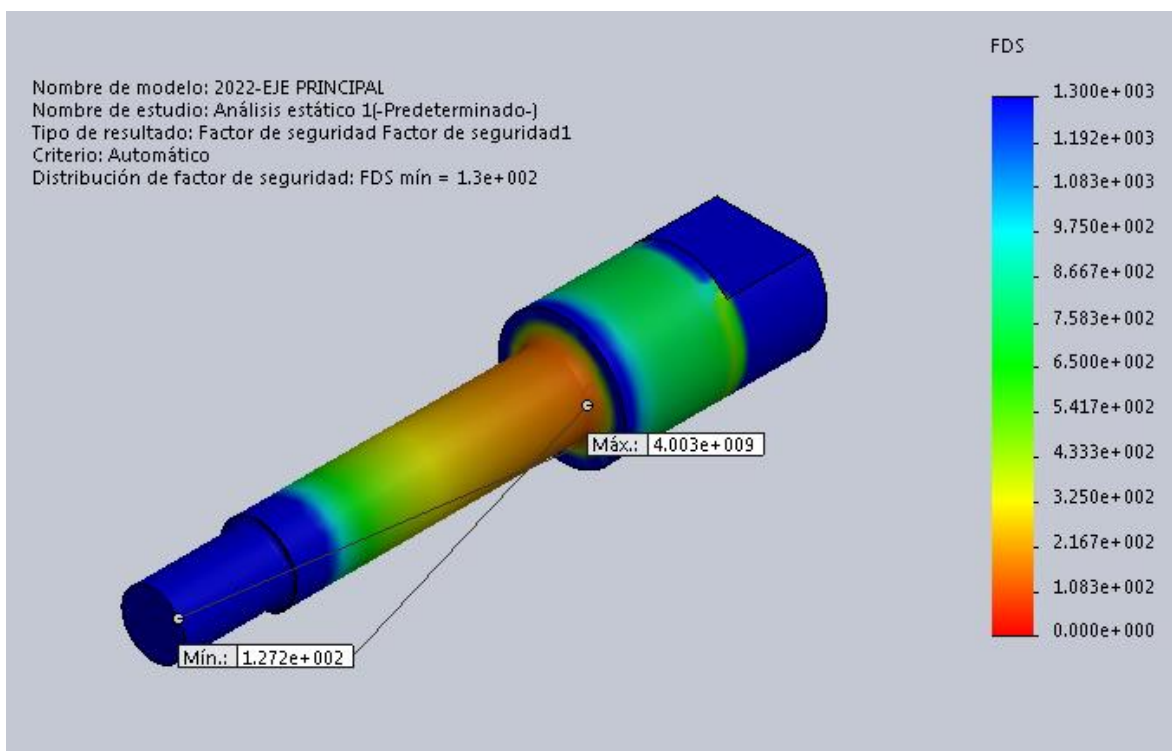


Figura 58: Formación de nodos en la estructura rotación en eje X.



Figura 59: Formación de nodos en la estructura rotación en eje Y.

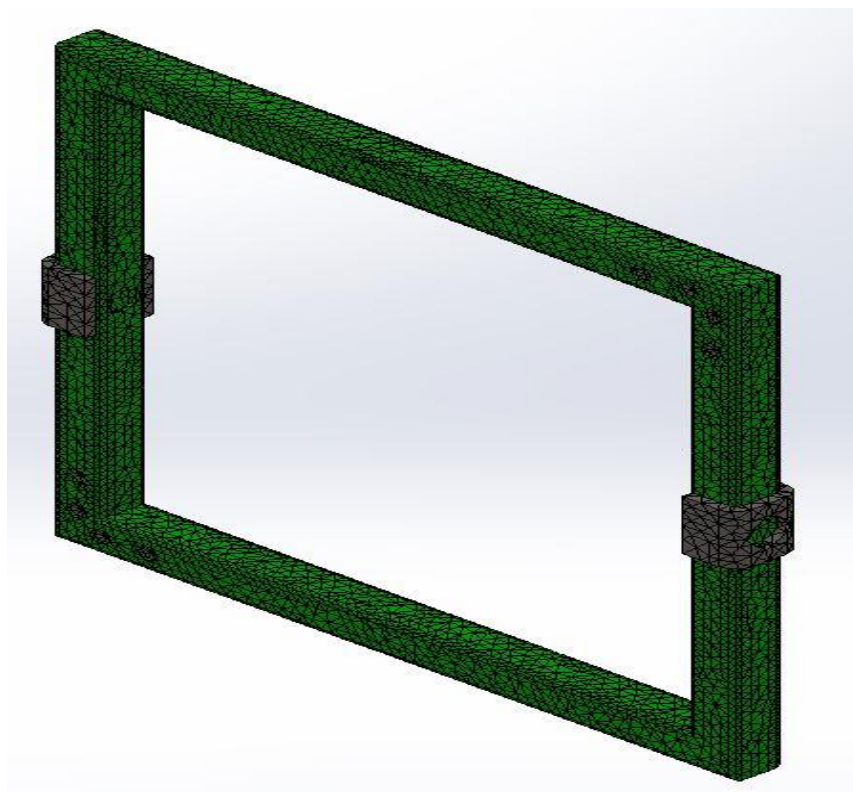


Figura 60: Formación de nodos chasis principal.

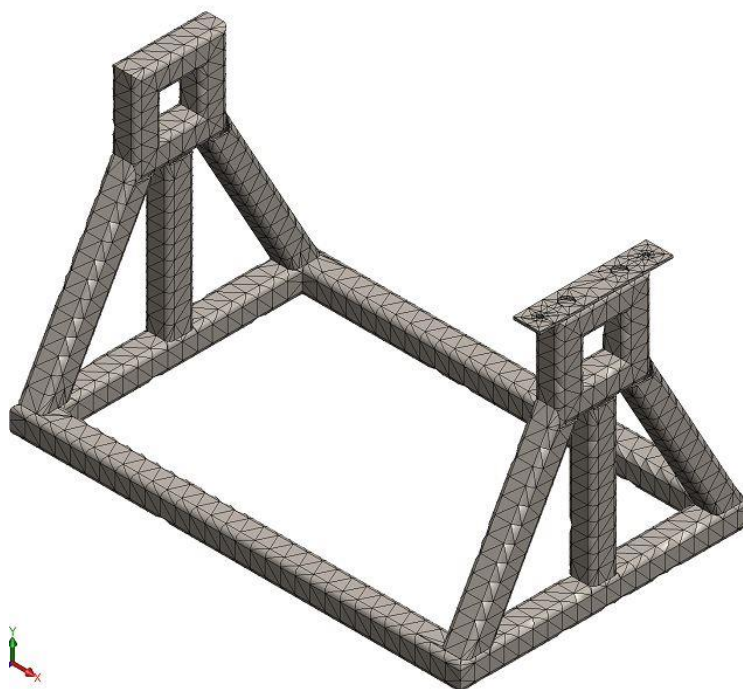


Figura 61: Formación de nodos ensamble eje giro.

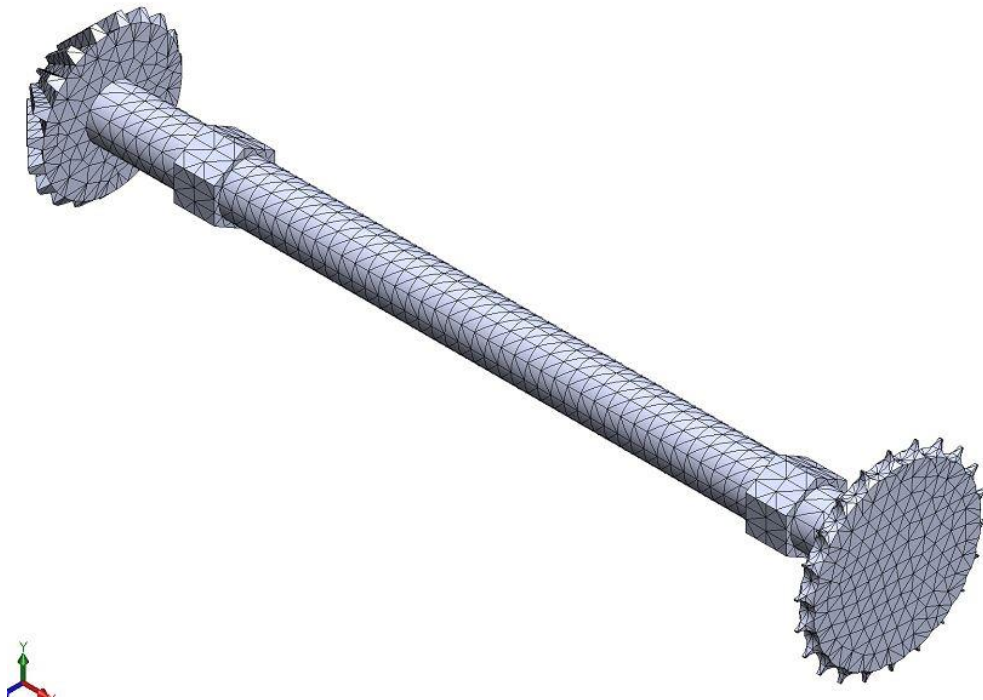


Figura 62: Formación de nodos eje principal.

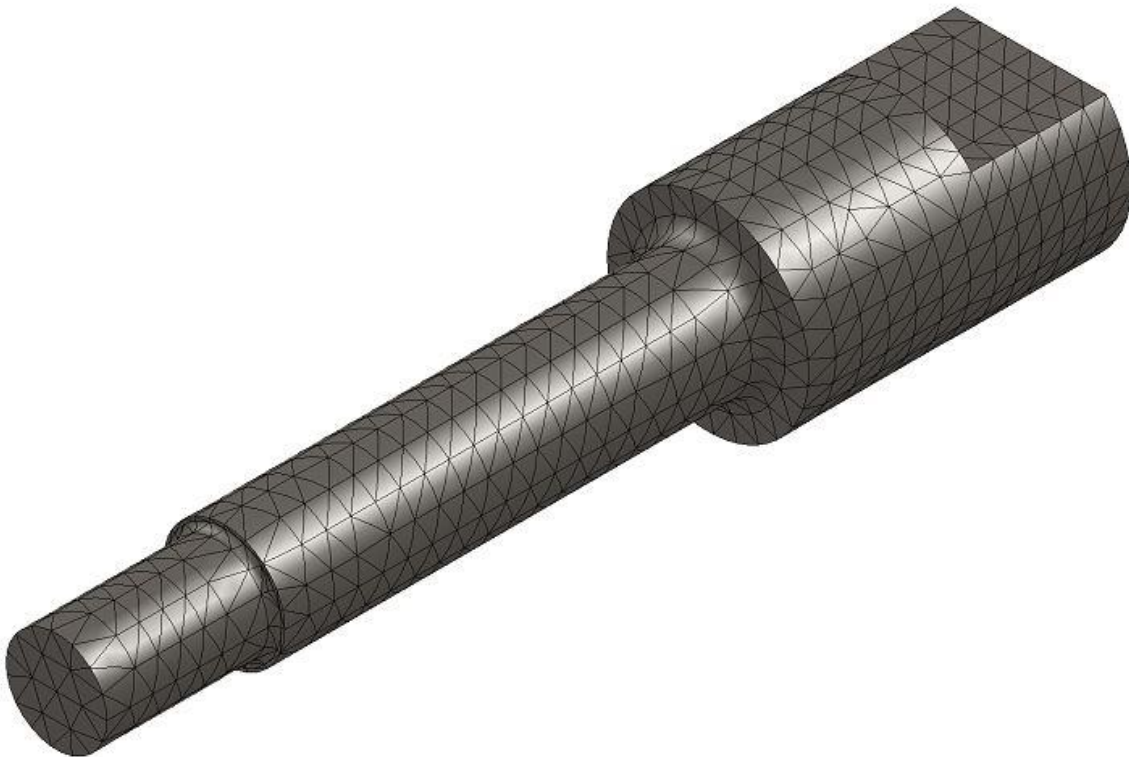


Figura 63: Diagrama de bloques estructura principales en MATLAB.

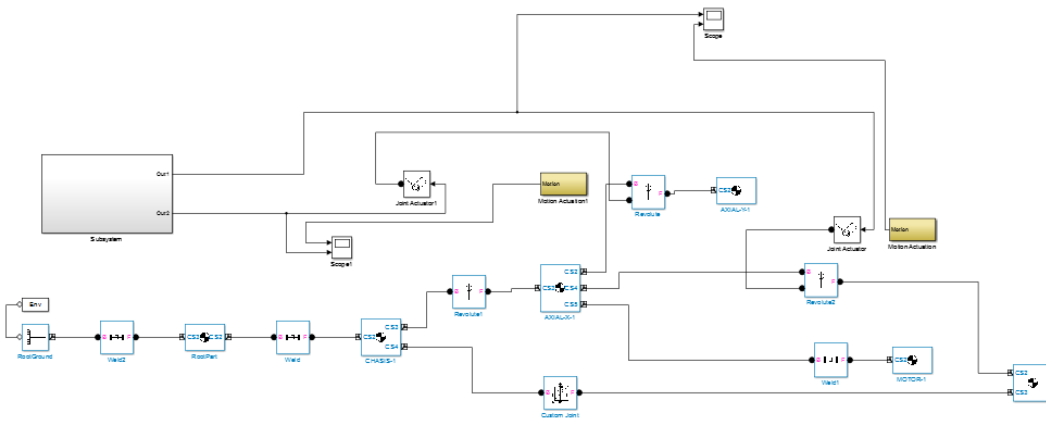


Figura 64: Diagrama de bloques y simulación en MATLAB (SIMULINK).

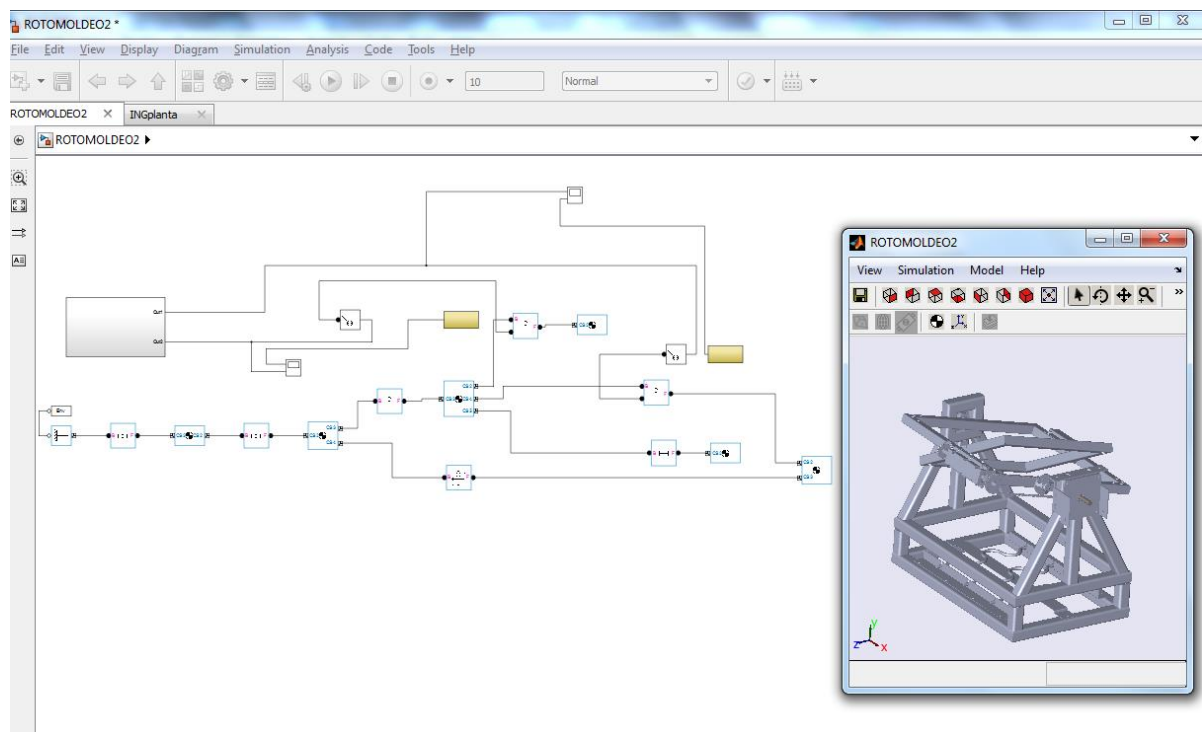


Figura 65: Simulación en MATLAB (SIMULINK).

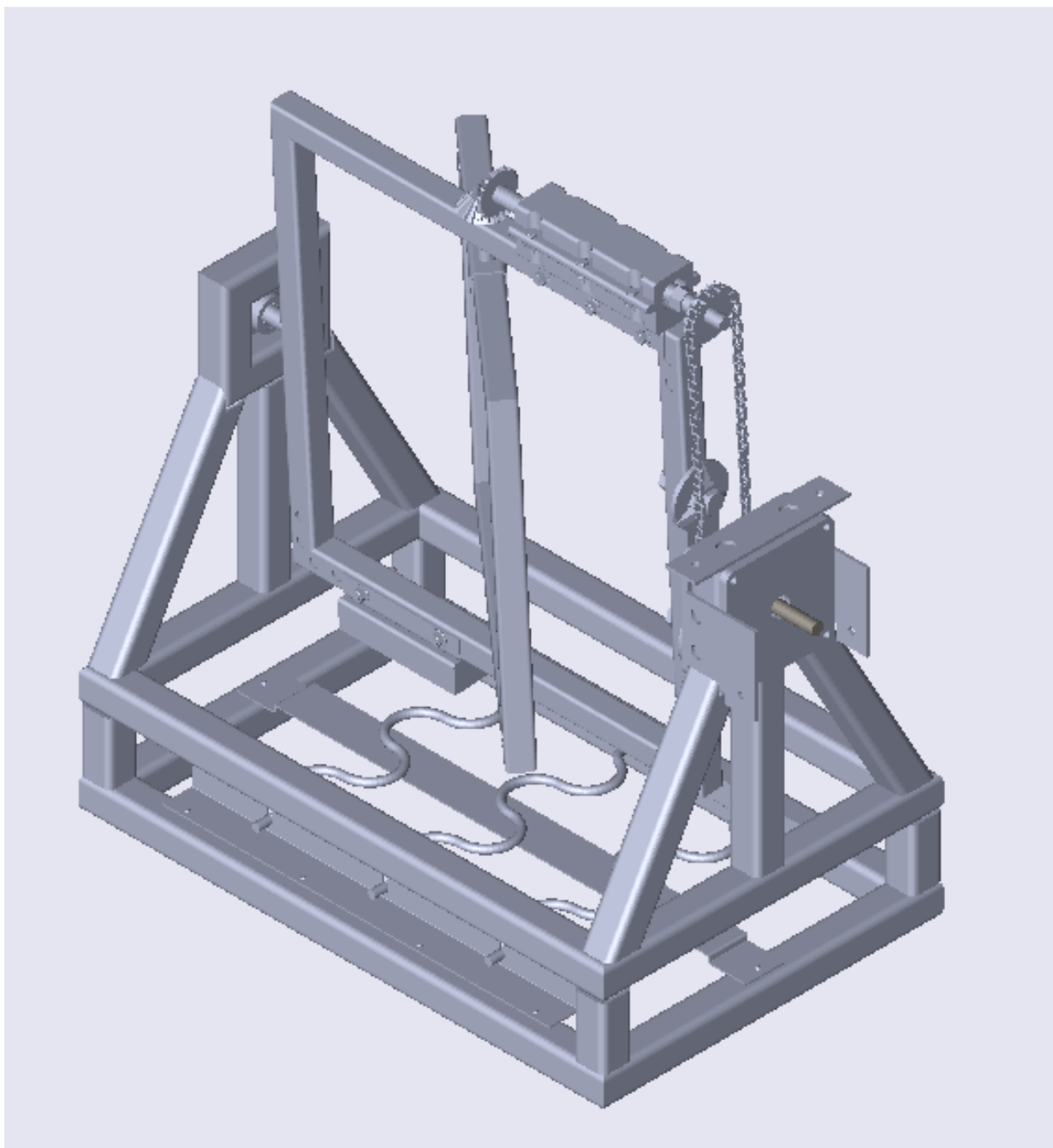
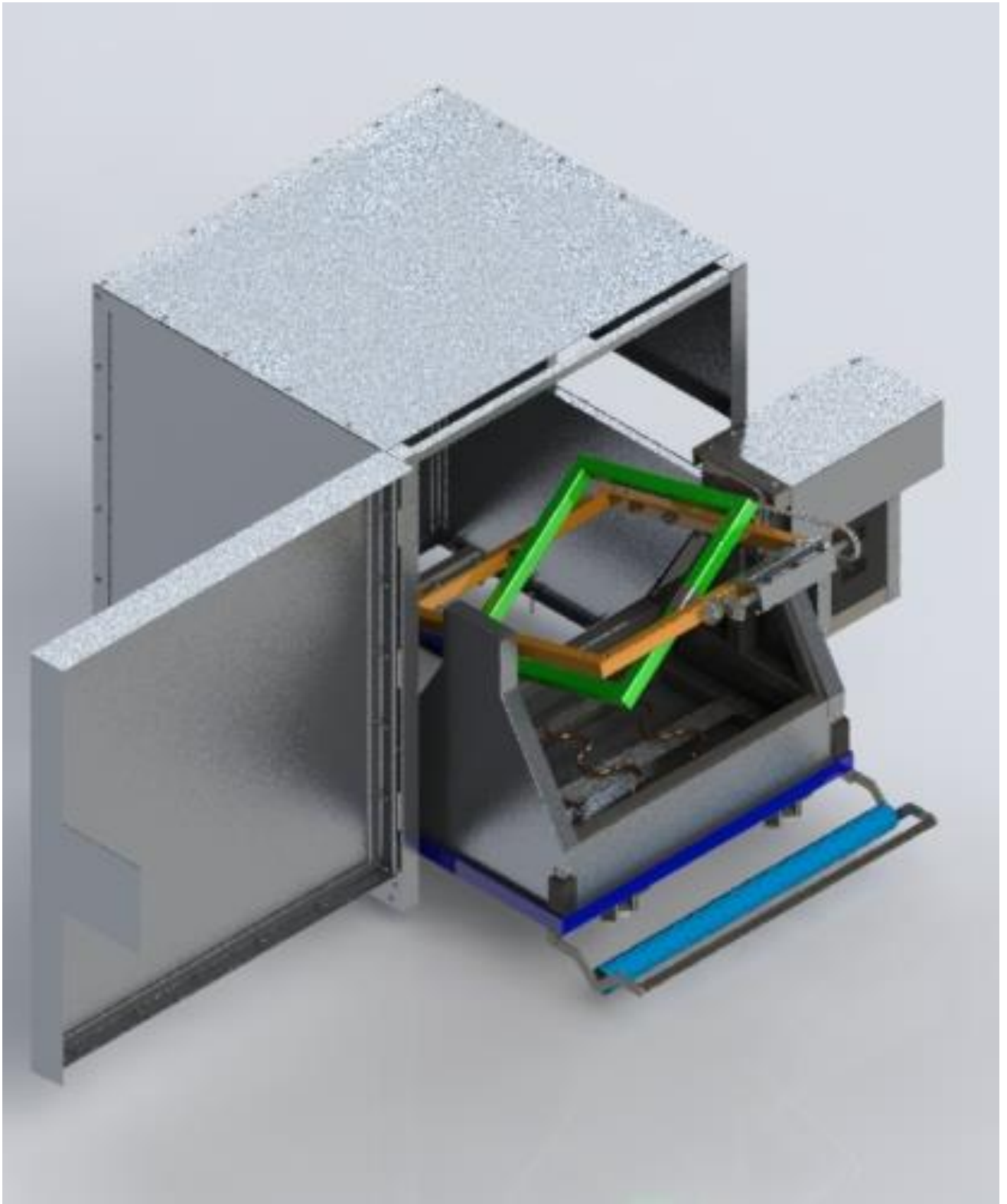
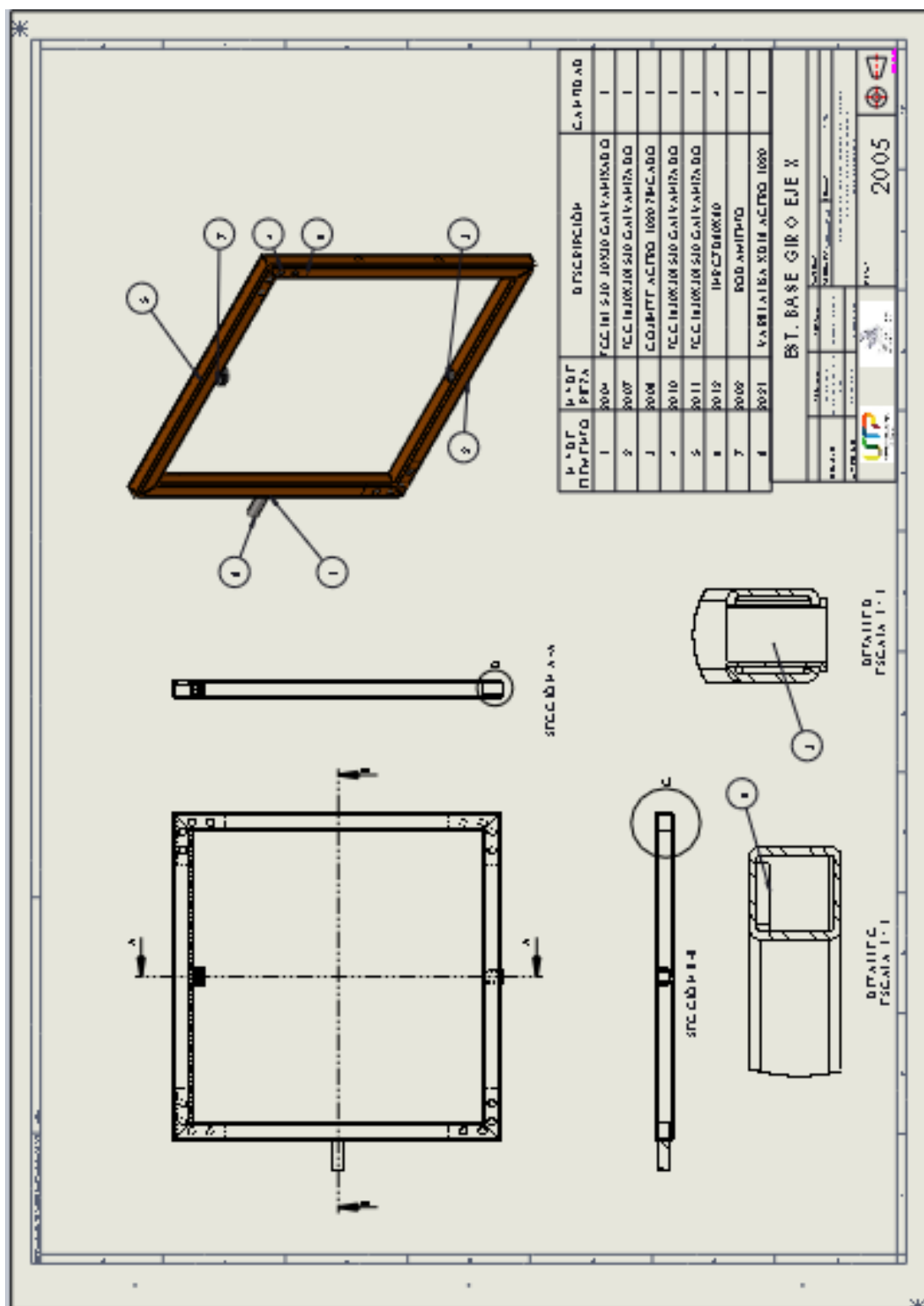


Figura 66: Rotomoldeadora renderizada.

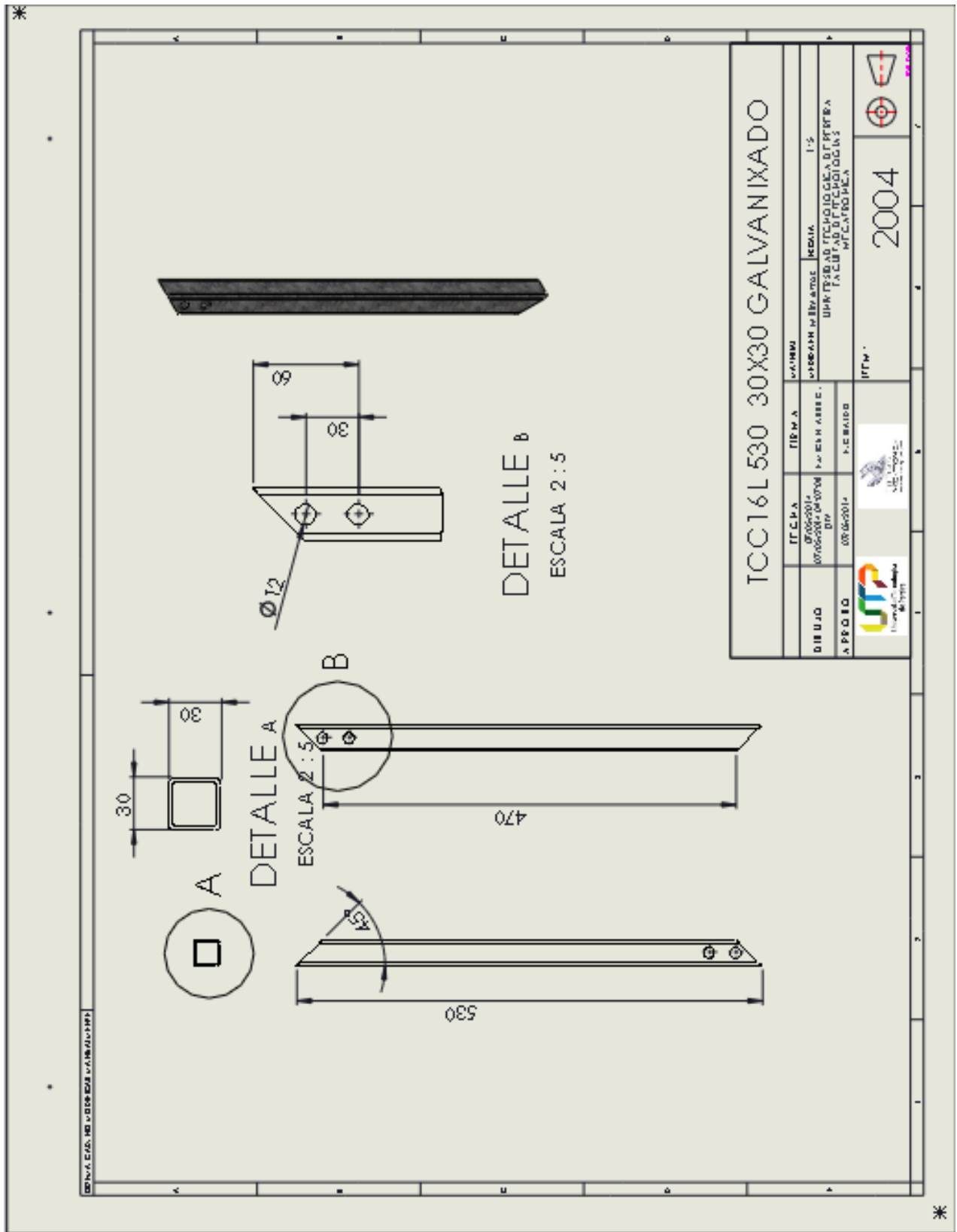


8.1 LIBRO DE PLANOS

Plano 1: Estructura base giro en eje X.



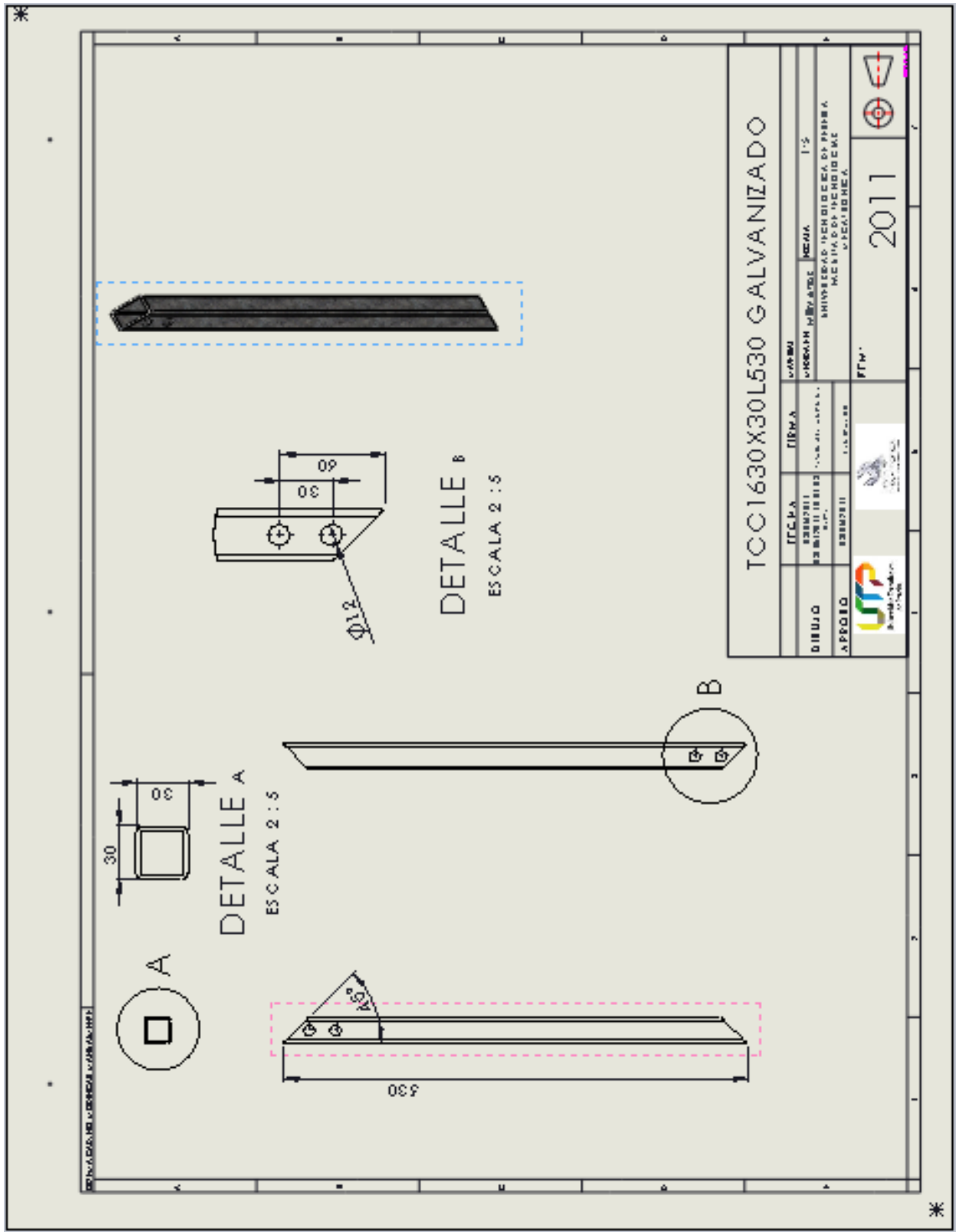
Plano 2: Tubo estructural base giro en eje X.



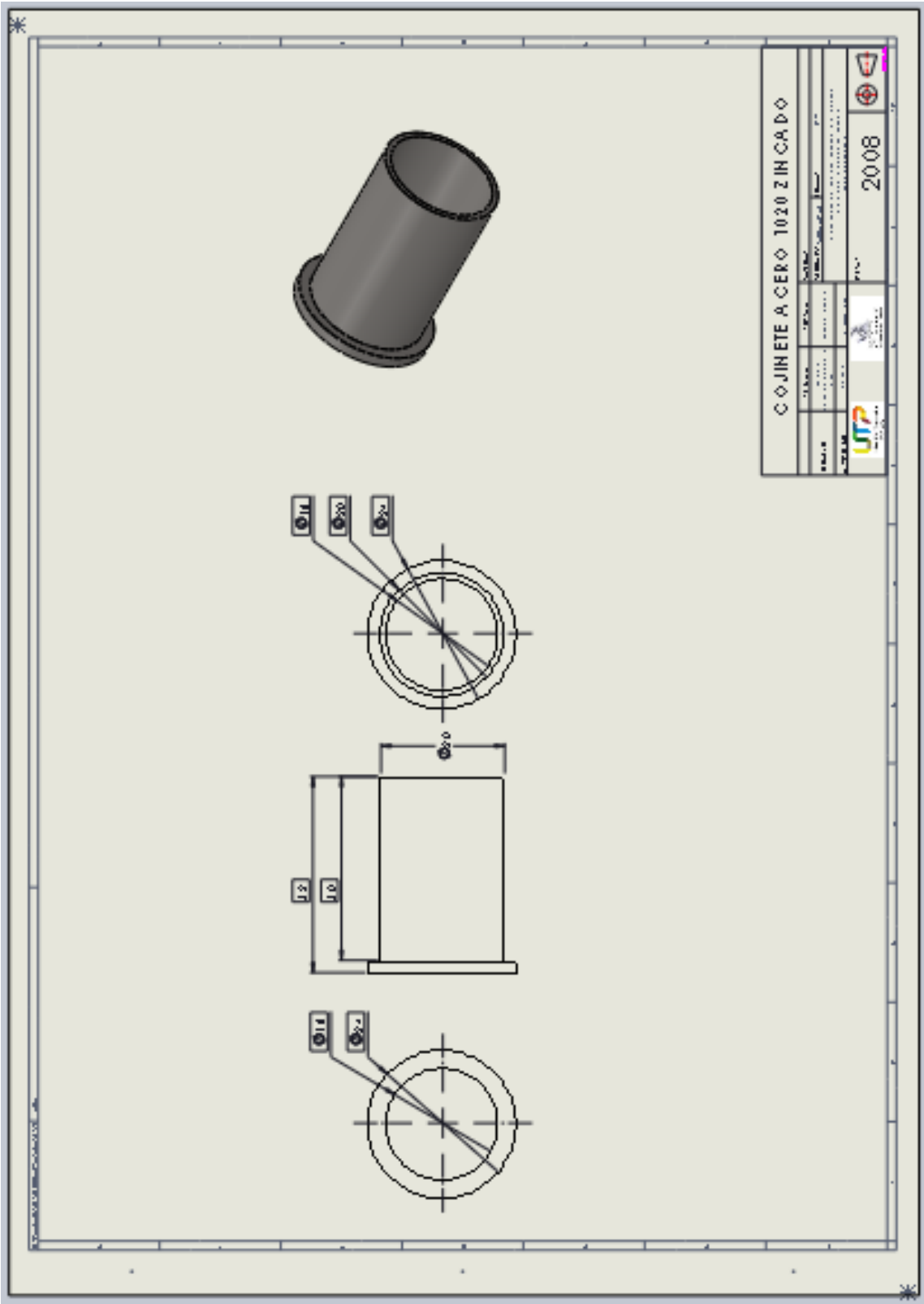
Technical drawing of a TCC1630X30L530 GALVANIZADO profile. The drawing includes three detailed views: DETALLE A (top view, 30x30mm square with a central hole), DETALLE B (side view, 470mm length, 265mm height, 530mm width, and 45-degree chamfer), and DETALLE C (end view, 30x30mm square with a central hole). The drawing is labeled 'TCC1630X30L530 GALVANIZADO' and 'ESCALA 2:5'.

81

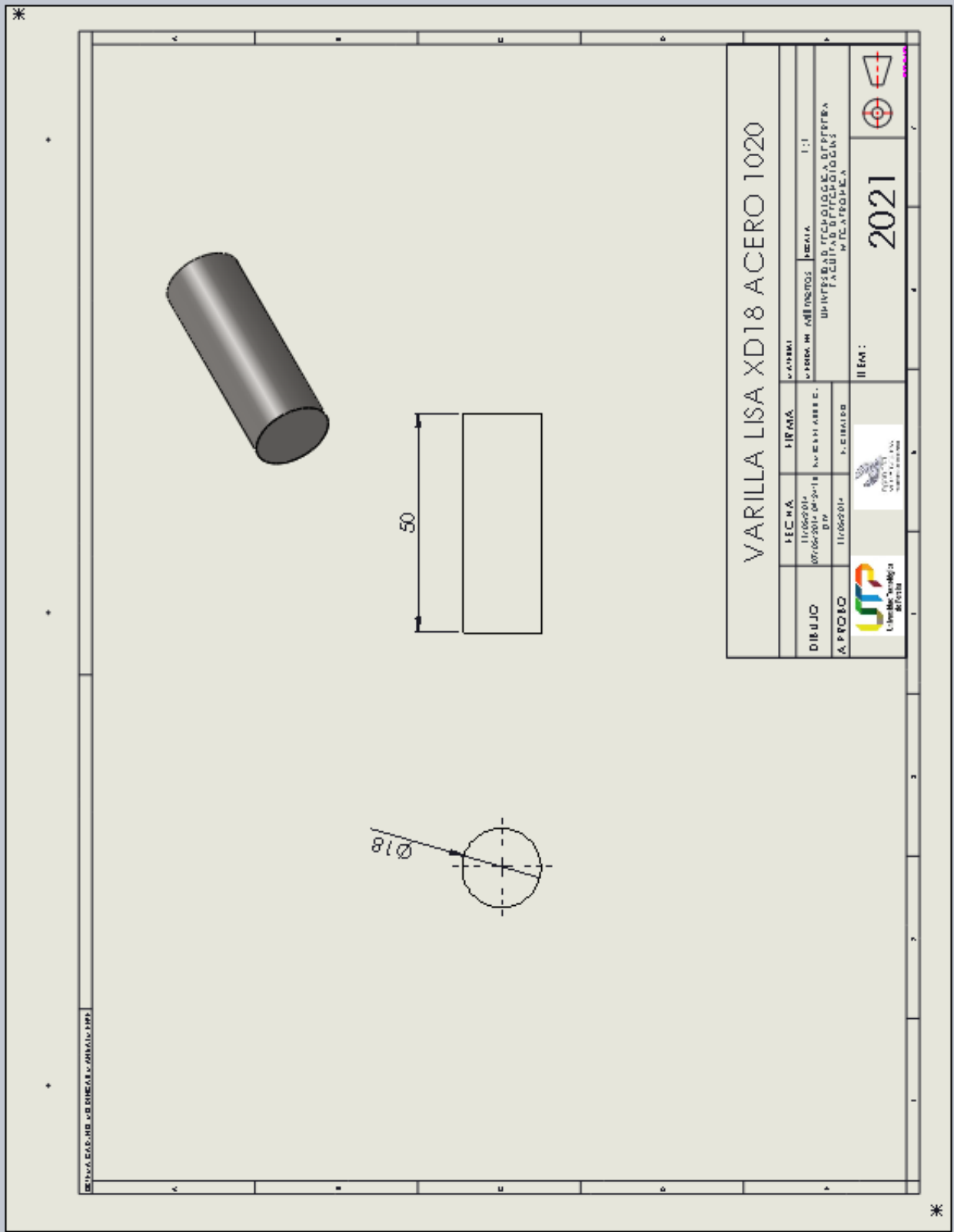
Plano 5: Tubo estructural base giro en eje X.



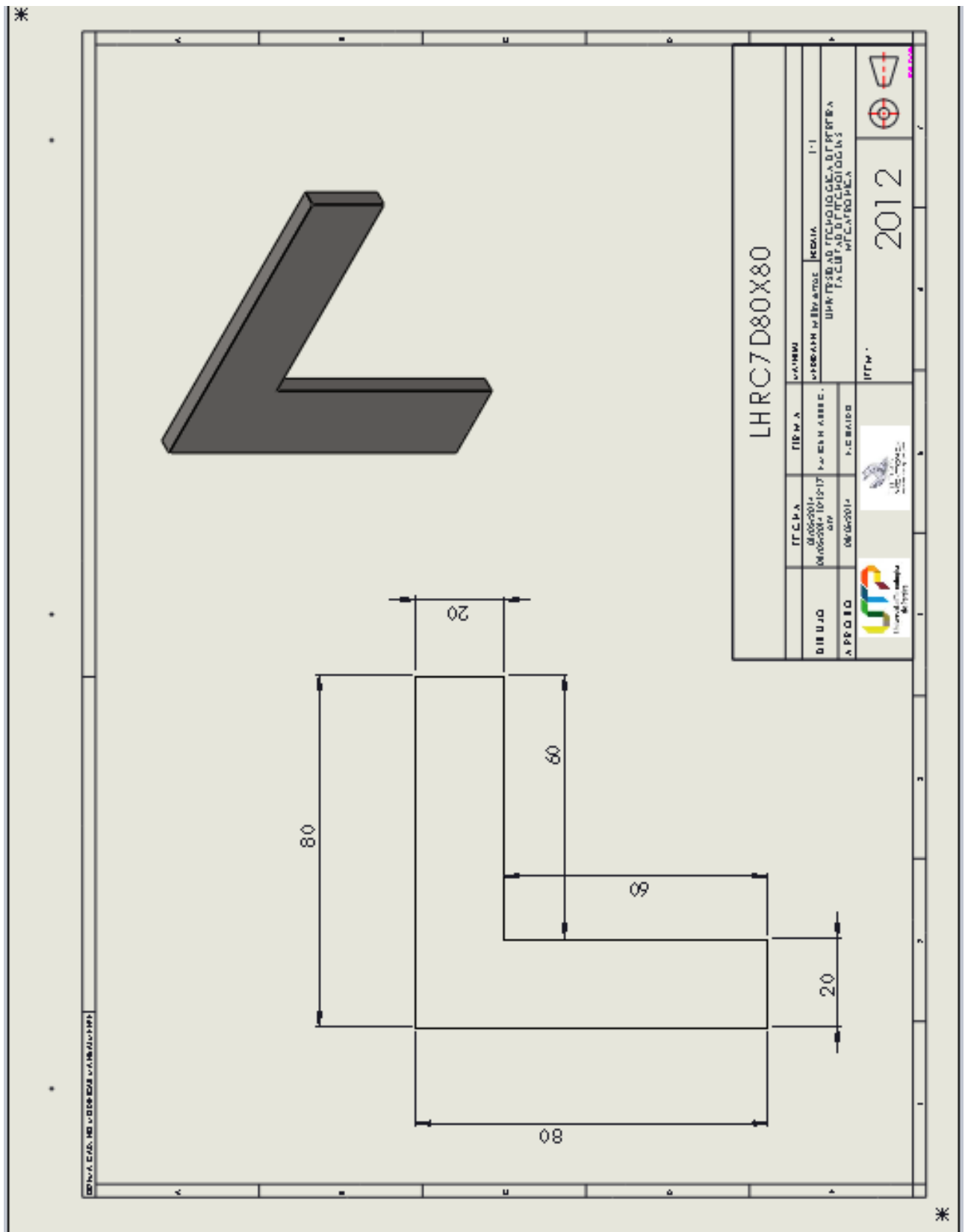
Plano 6: Cojinete acople entre estructuras.



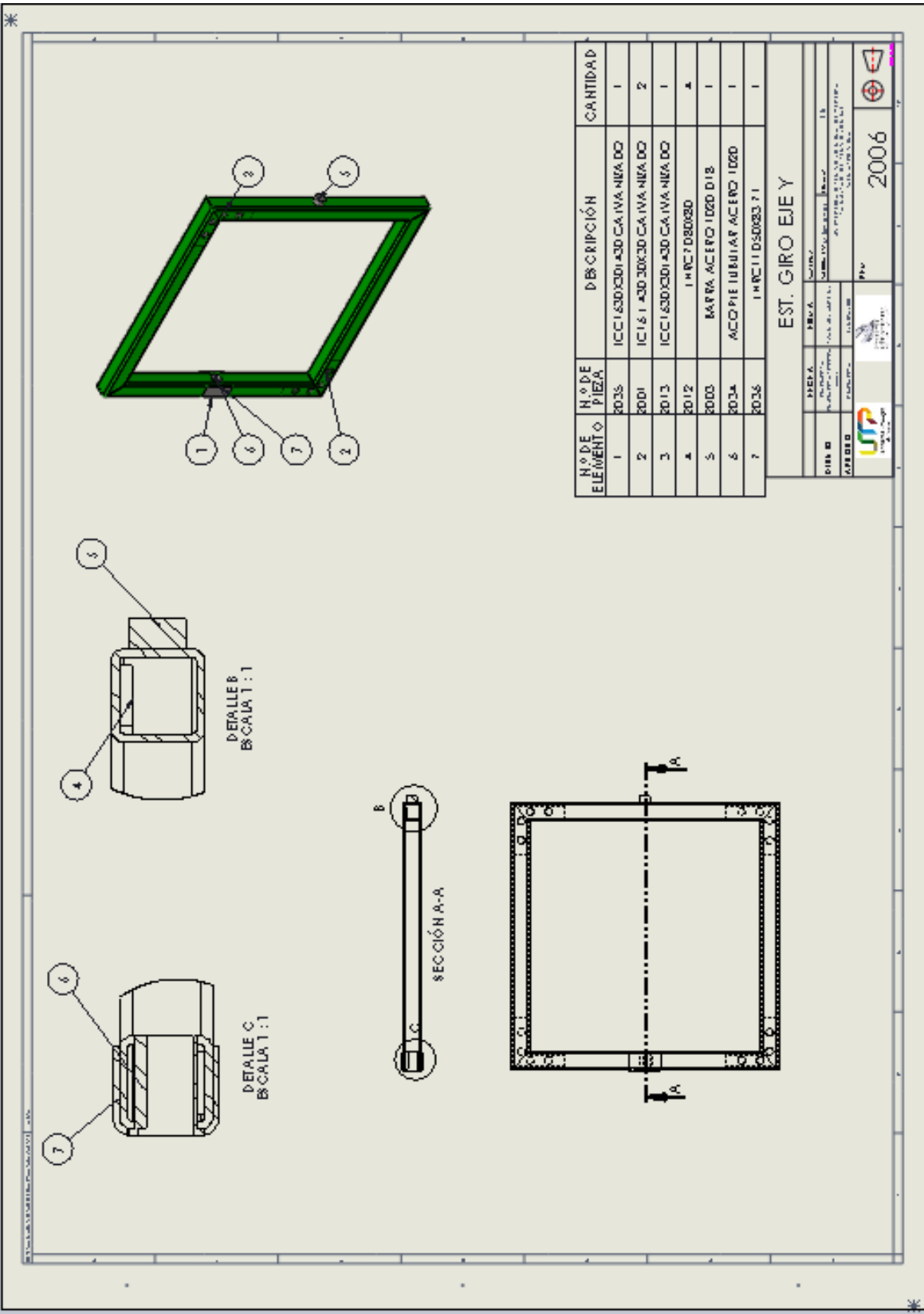
Plano 8: Varilla guía entre estructuras de giro.



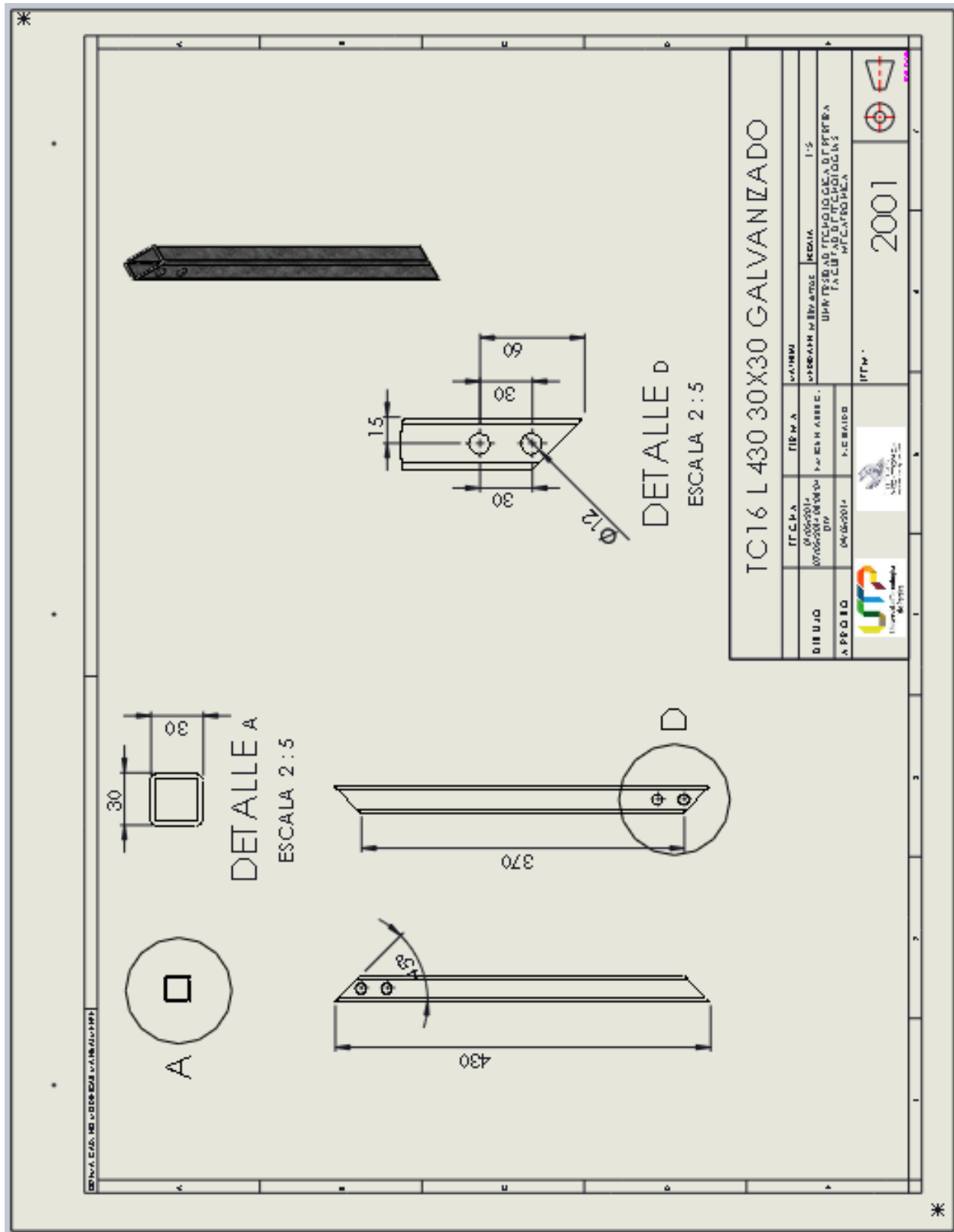
Plano 9: Refuerzo esquina.



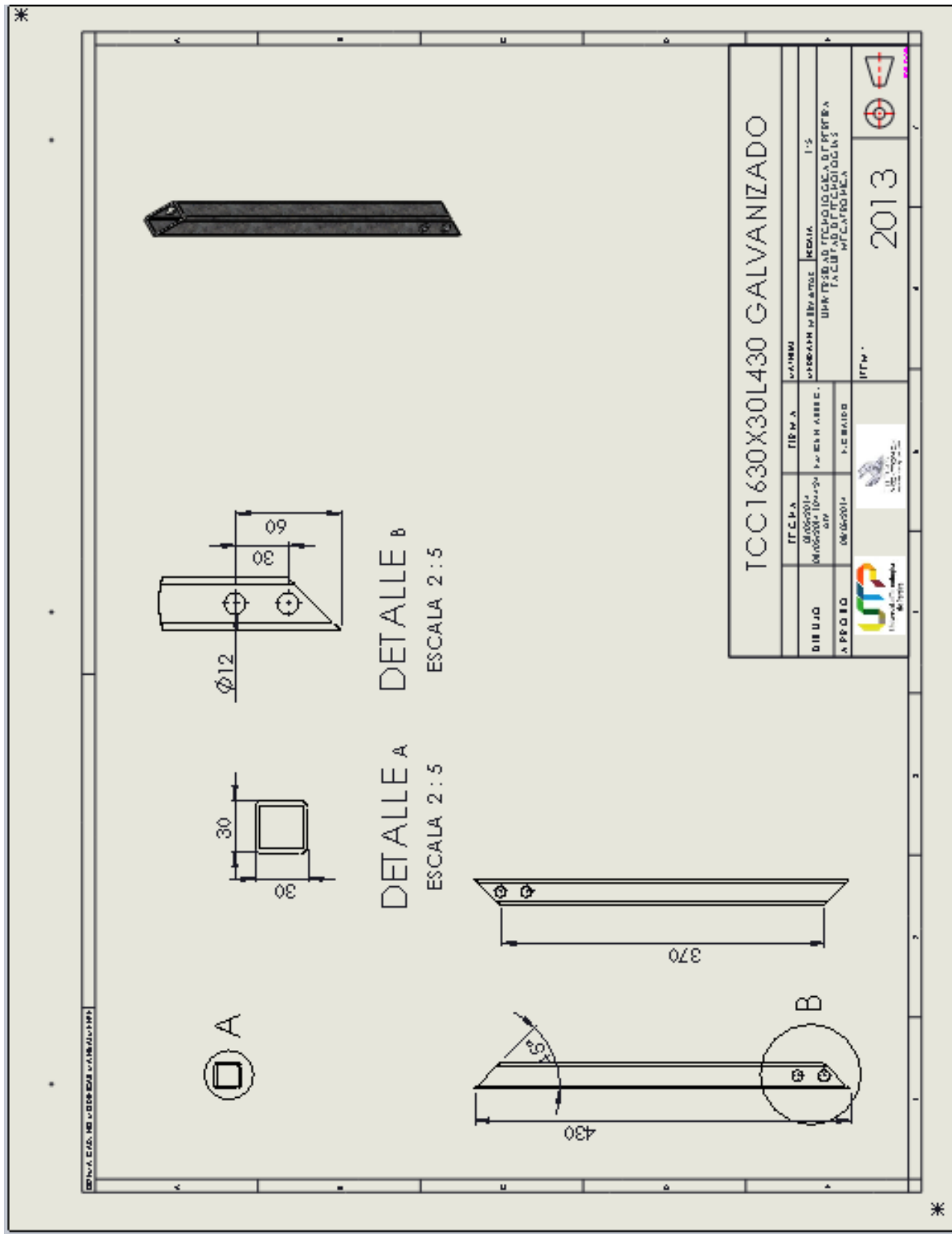
Plano 10: Estructura base giro en eje Y.



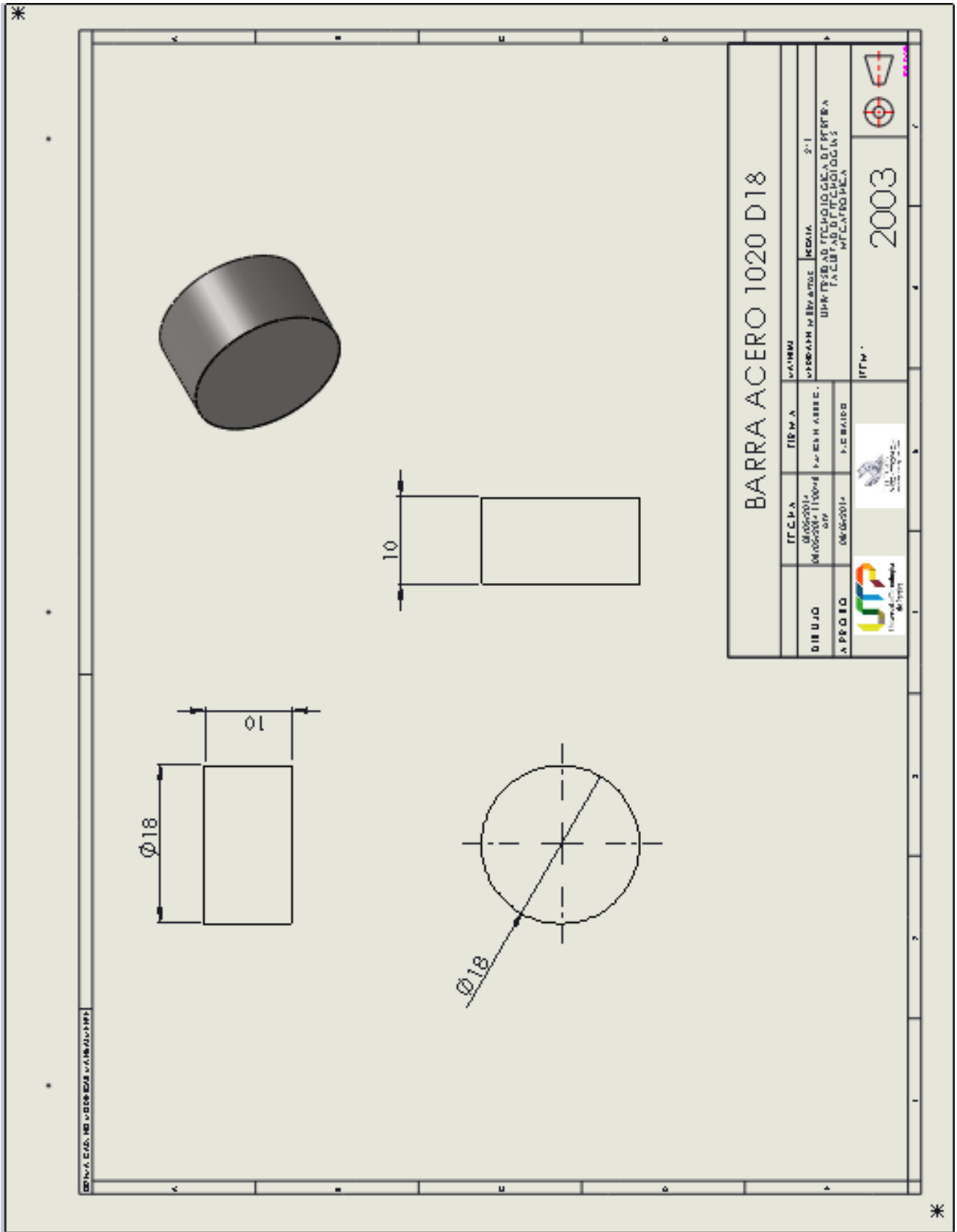
Plano 12: Tubo estructural base giro en eje Y.



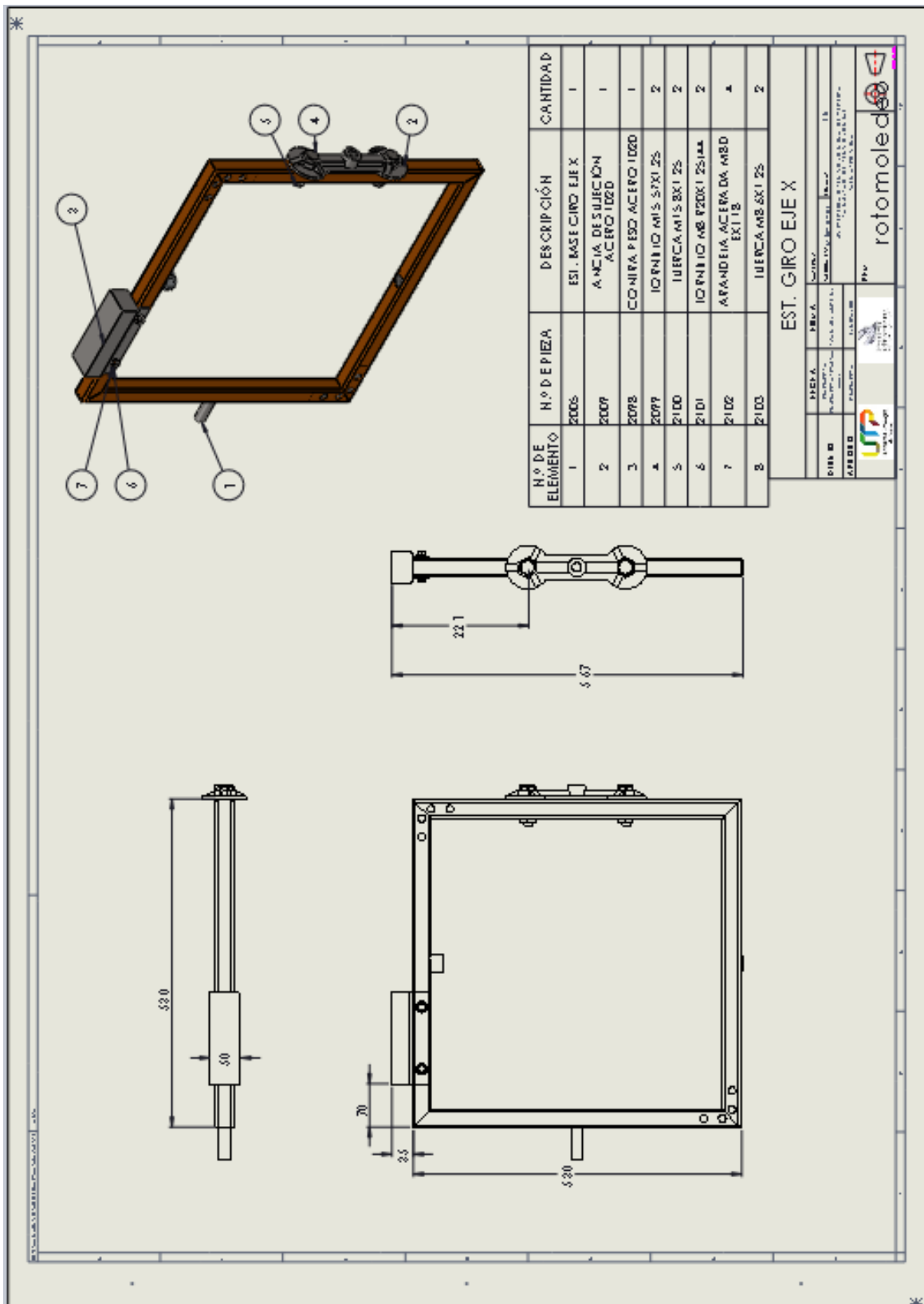
Plano 13: Tubo estructural base giro en eje Y.



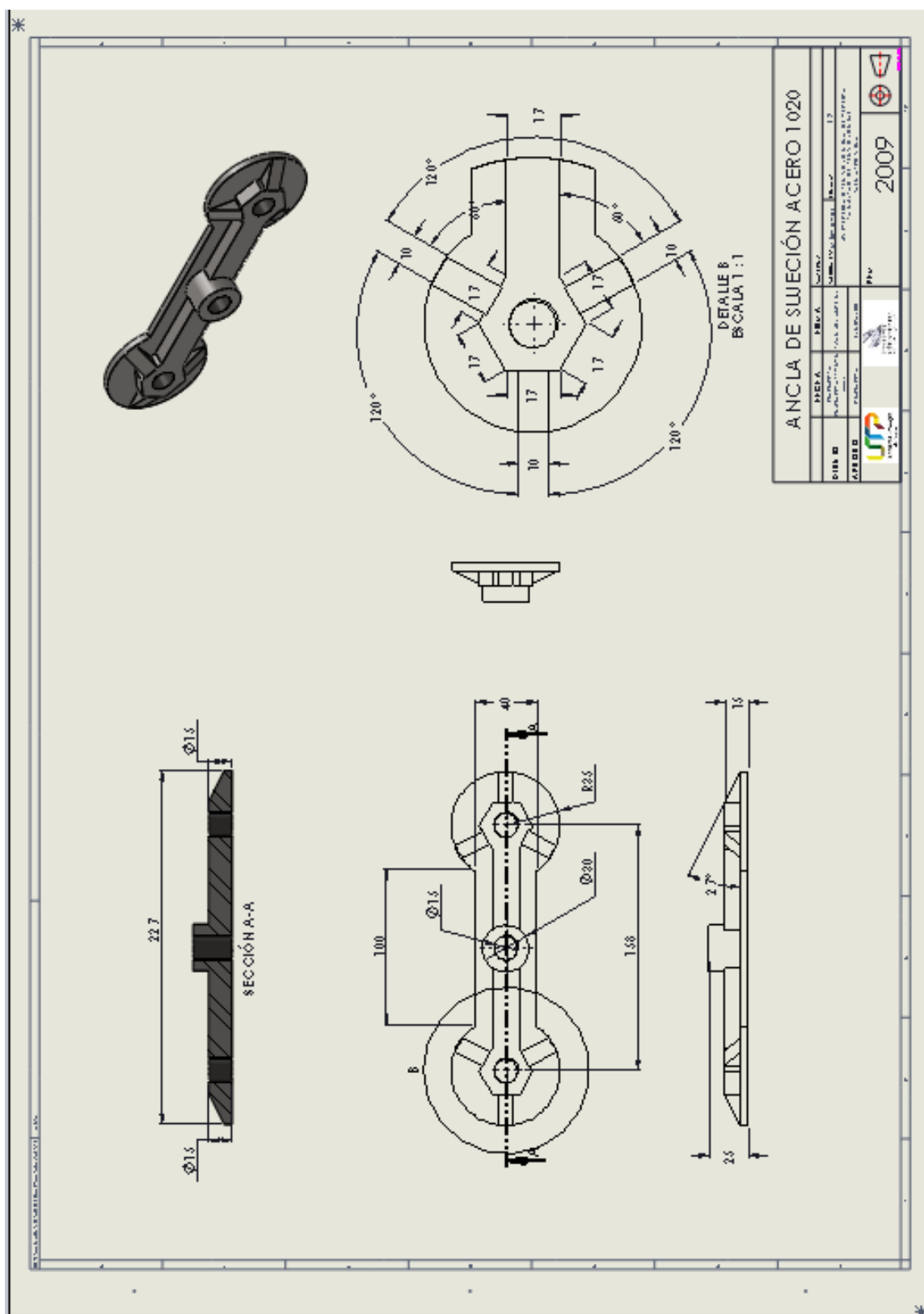
Plano 14: Varilla 2 guía entre estructuras de giro.



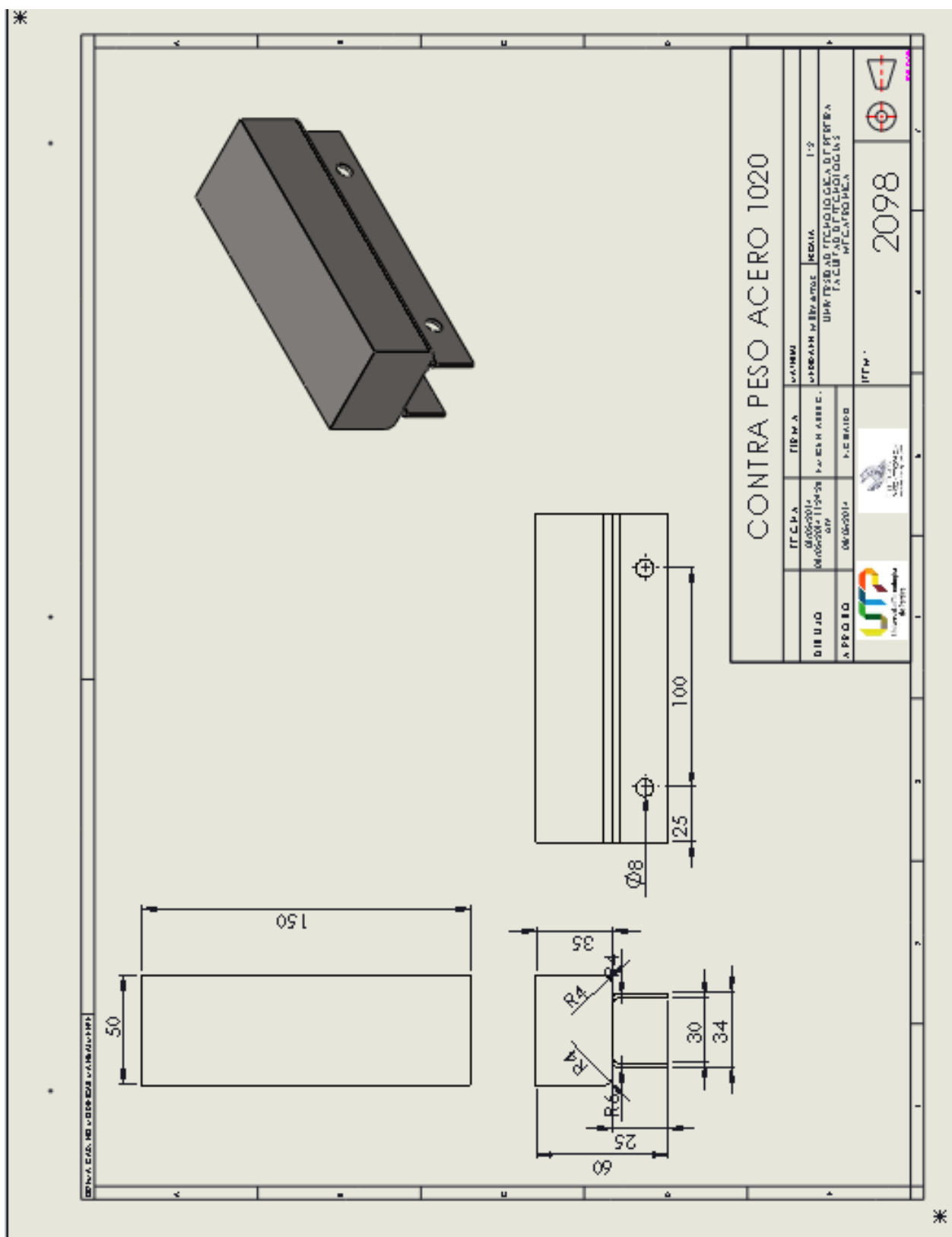
Plano 17: Estructura giro eje X.



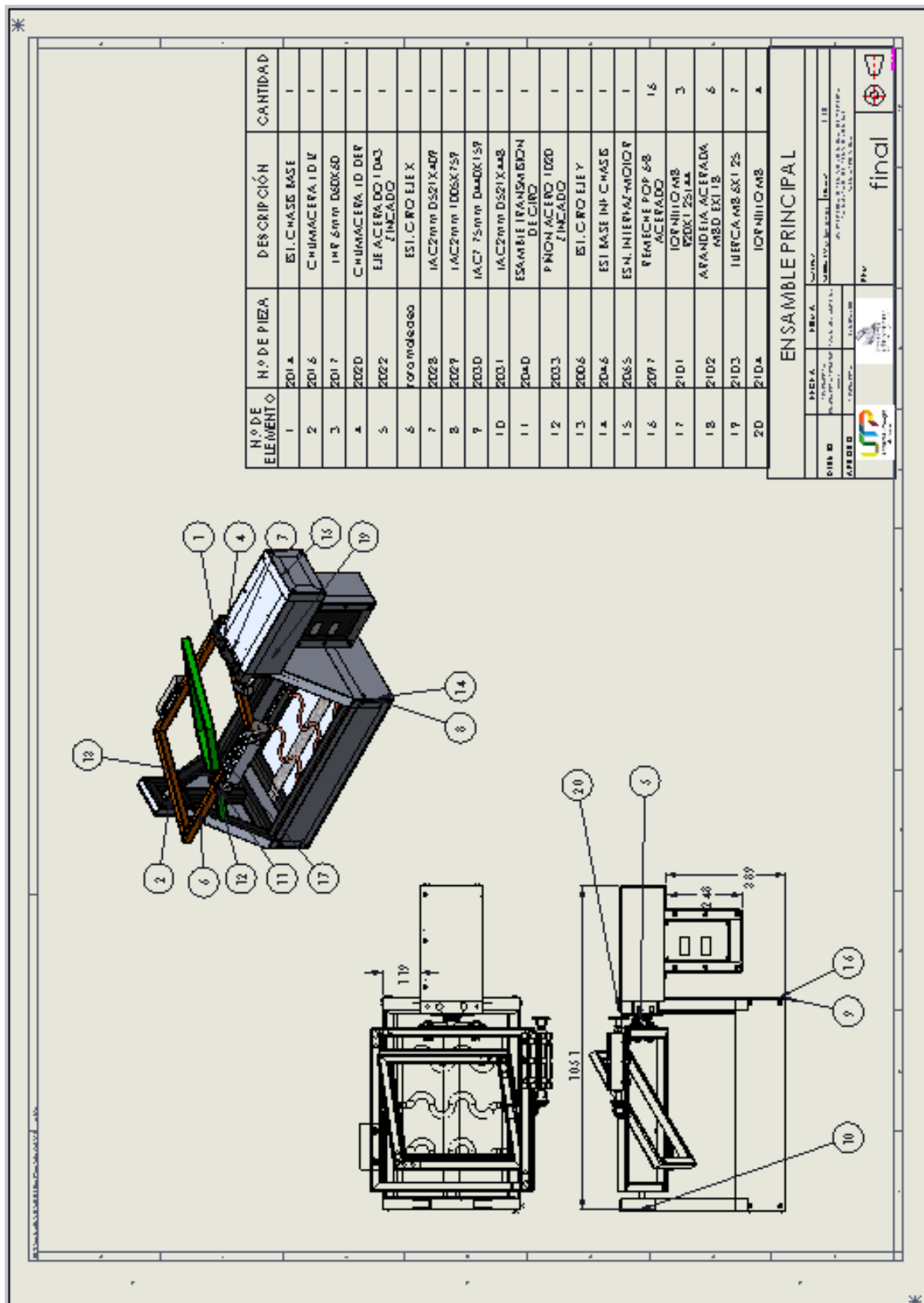
Plano 18: Ancla de sujeción.



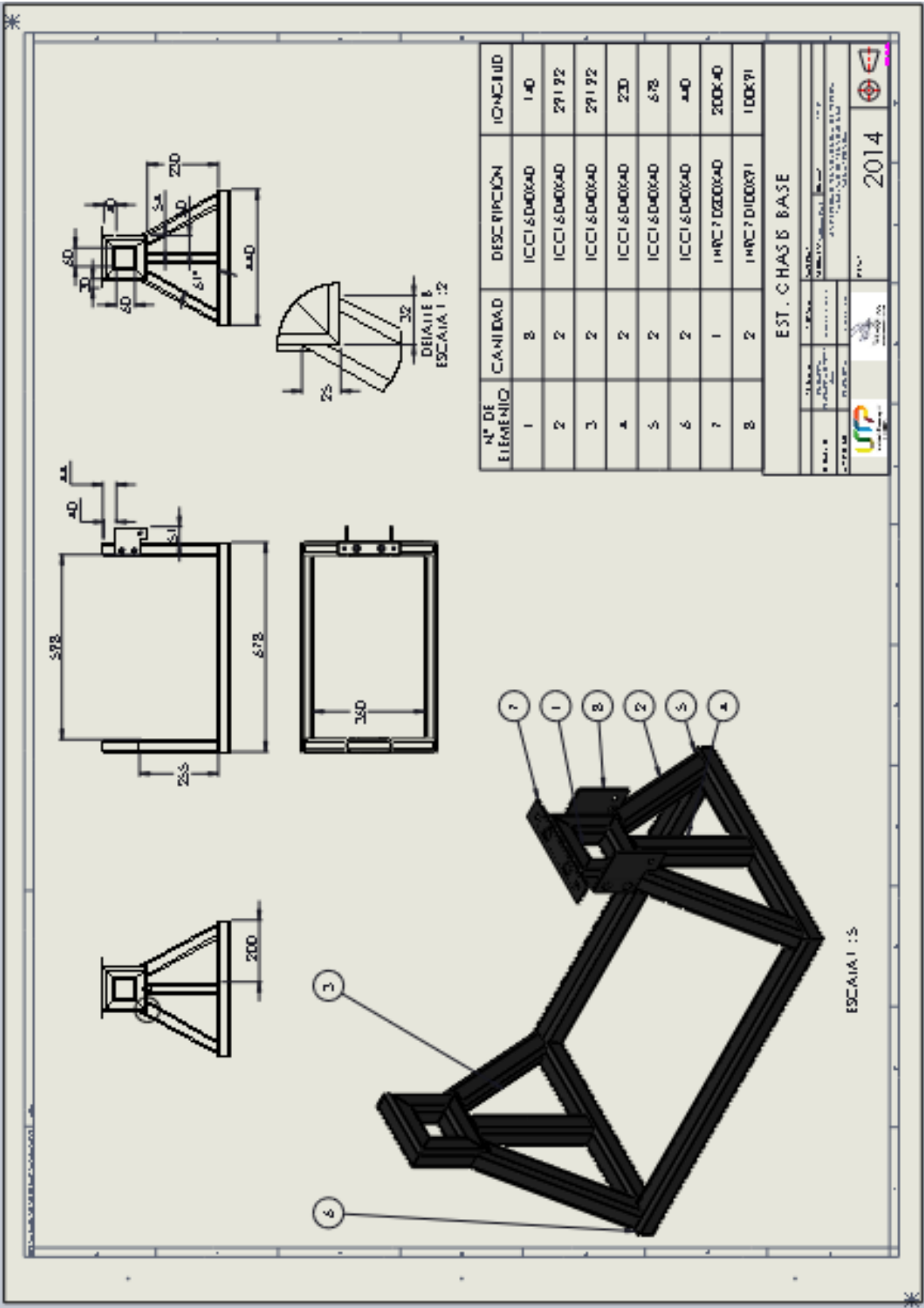
Plano 19: Contra-peso.



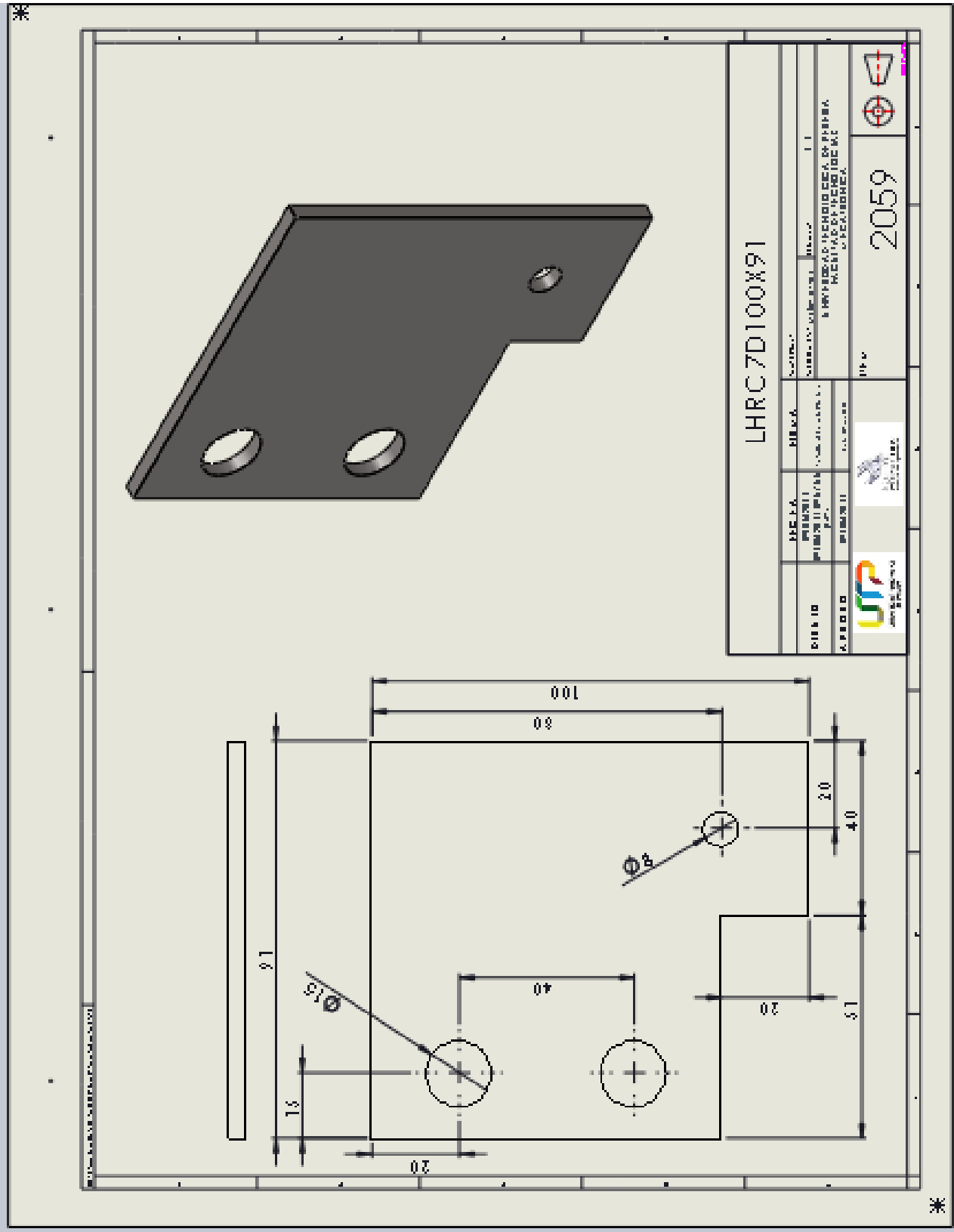
Plano 20: Ensamble principal.



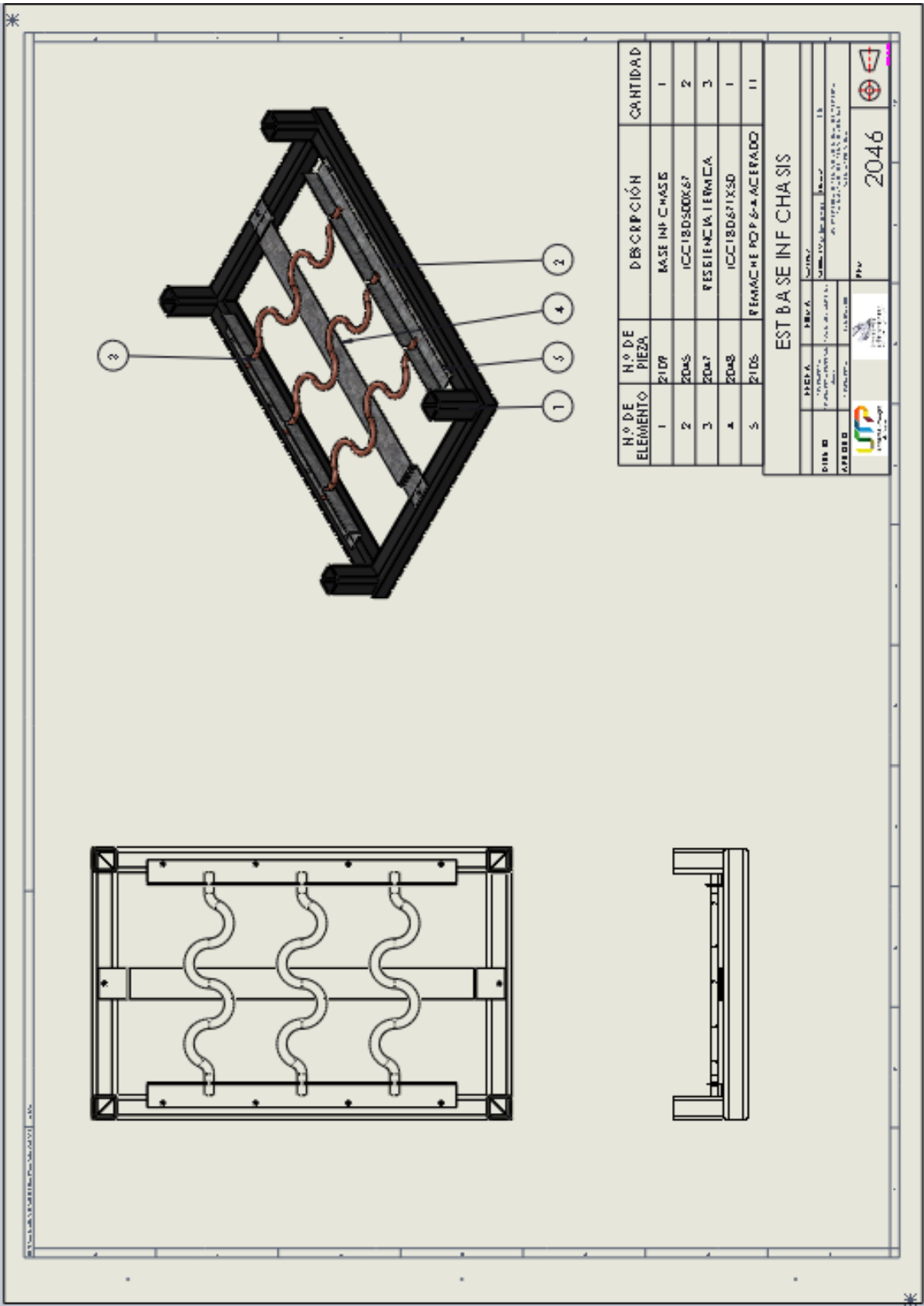
Plano 21: Chasis principal.



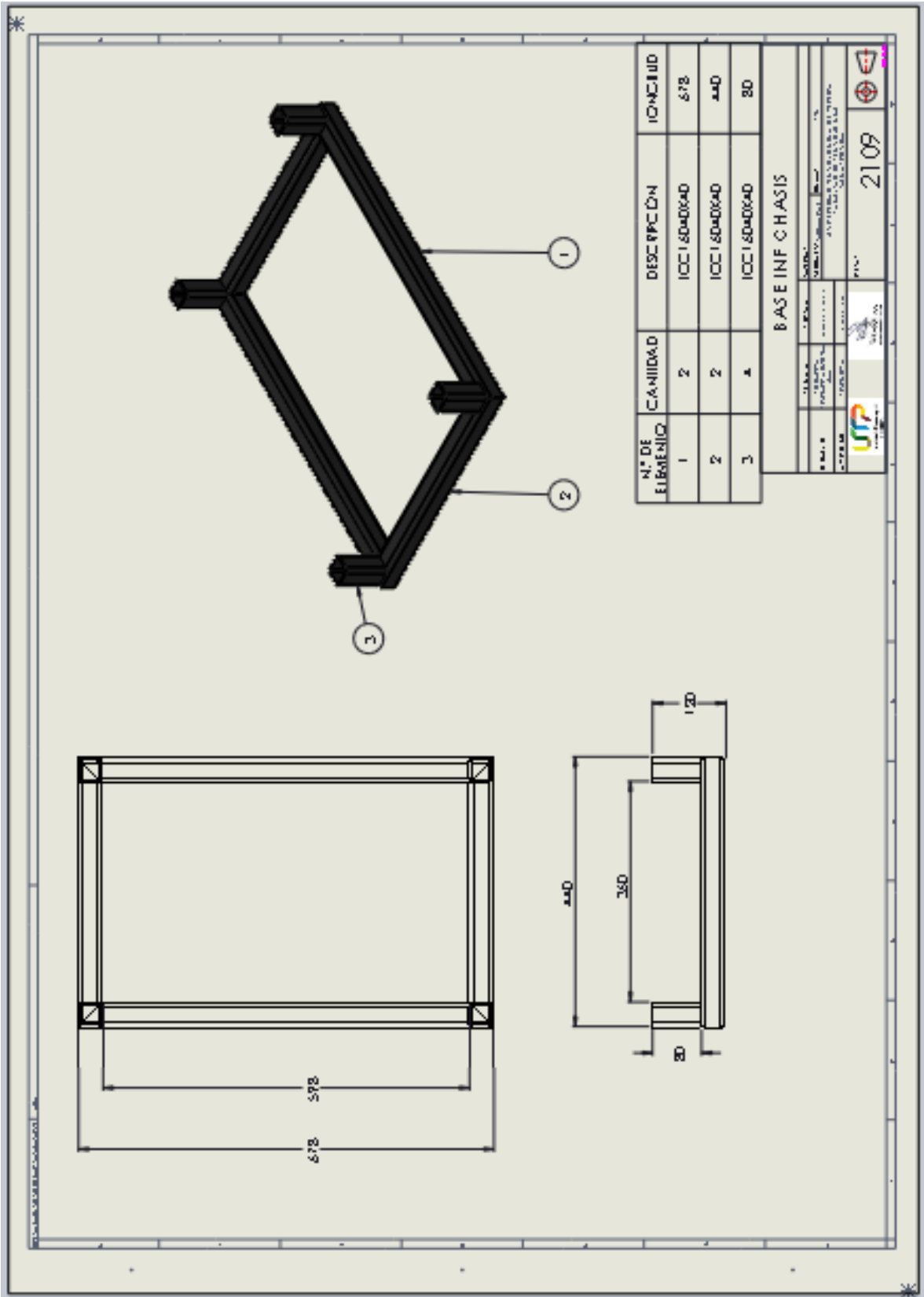
Plano 23: Complemento 2 chasis principal.



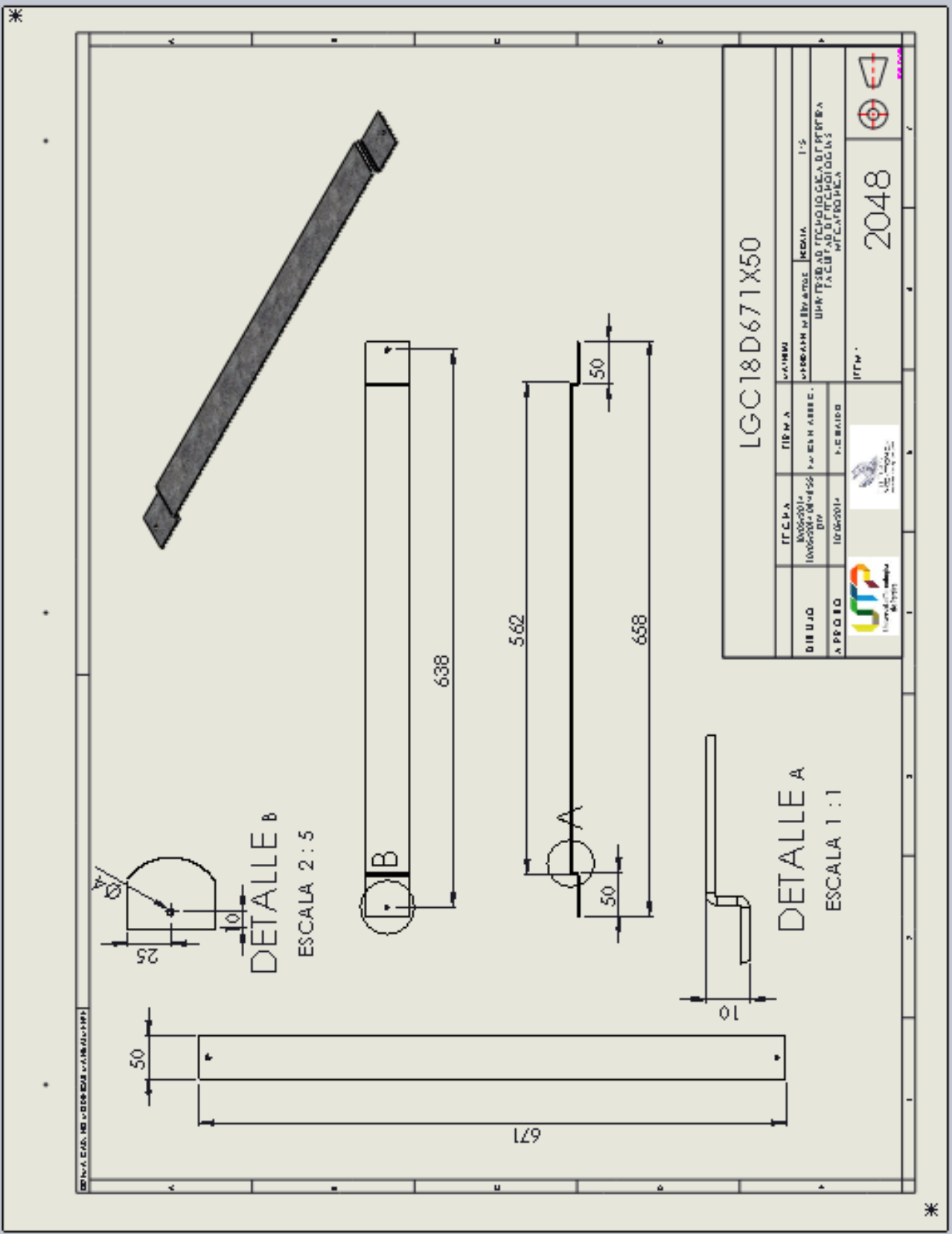
Plano 24: Ensamble base chais.



Plano 25: Base chais.

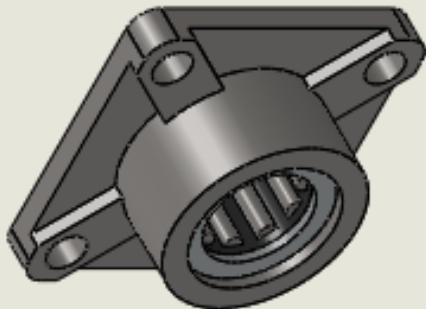
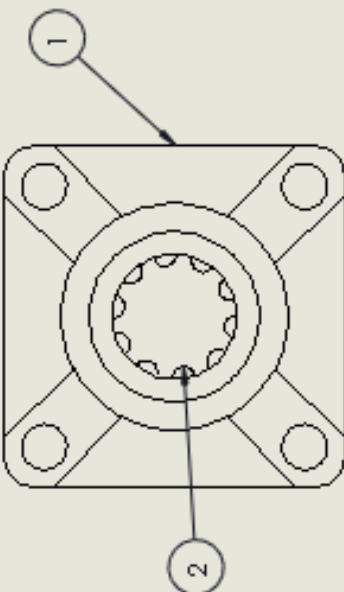


































































































































































































































































































































Plano 27: Soporte centro resistencia.

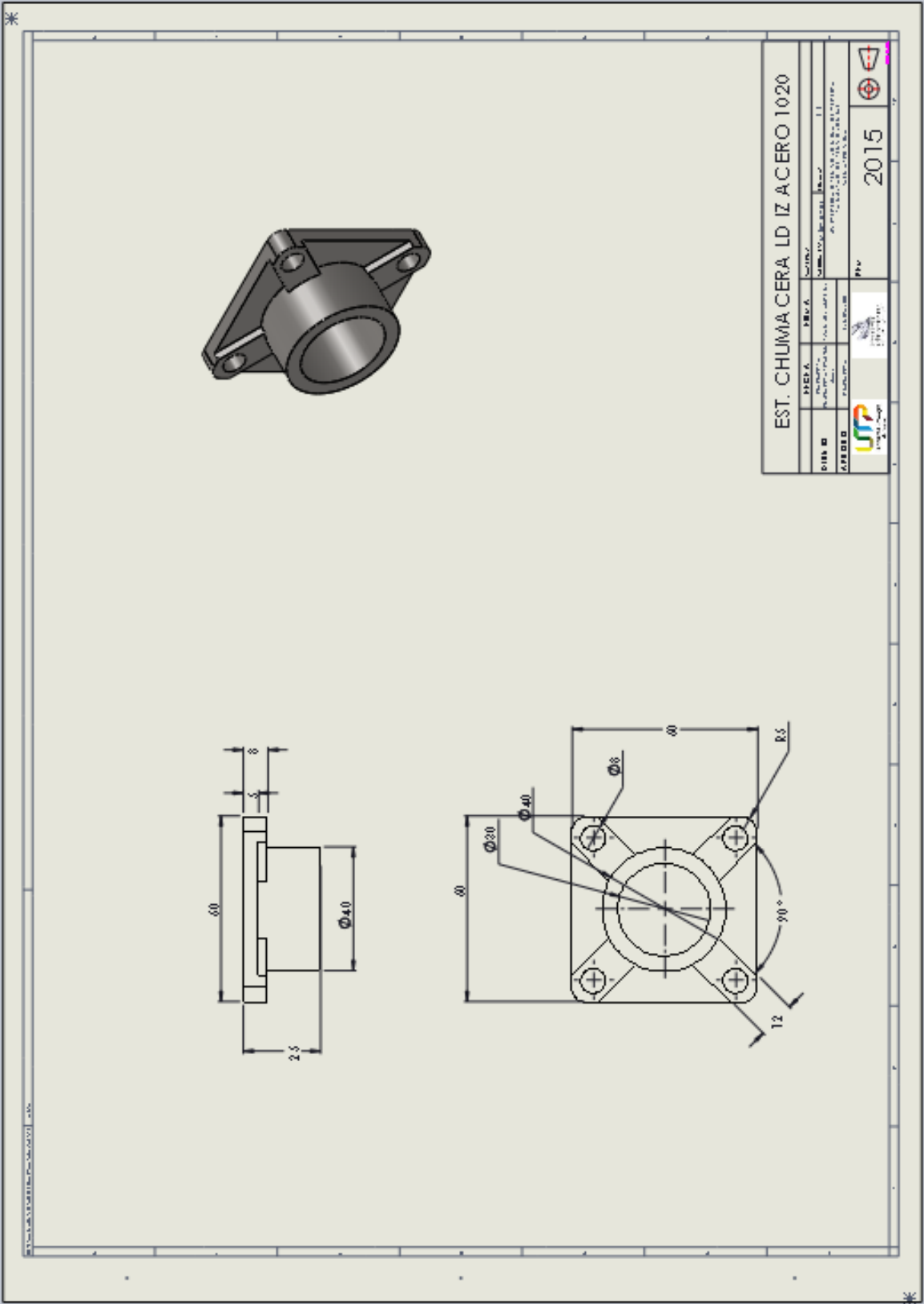


Technical drawing of a wavy pipe. The main drawing shows a side view of a pipe with a wavy profile. Dimensions are given in millimeters (mm): total length 360, individual wave segments 82.50, 65, 65, 65, 65, 83. A detail view 'A' is shown at the bottom right, labeled 'DETALLE A' and 'ESCALA 1:1'. The detail view shows a cross-section of the pipe with a radius of R37.50 and a thickness of 4 mm. The outer diameter is 17 mm and the inner diameter is 9 mm. A small detail of the pipe's end is shown at the top left, indicating an outer diameter of 10 mm.

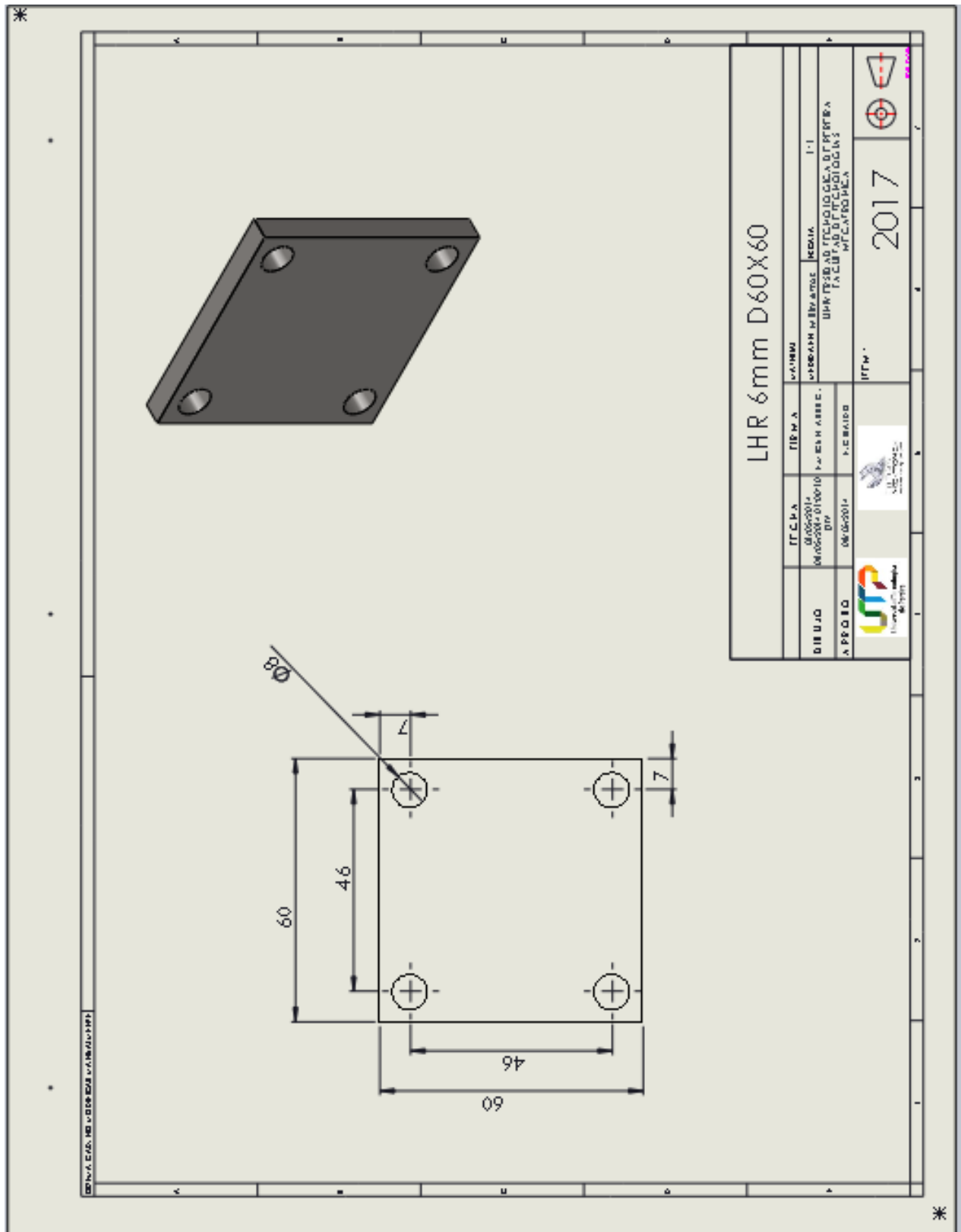
106

			
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	2015	EST. CHUMACERA LD IZ ACERO 1020	1
2	2002	RODAMIENTO	1
CHUMACERA LD IZ			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			
			

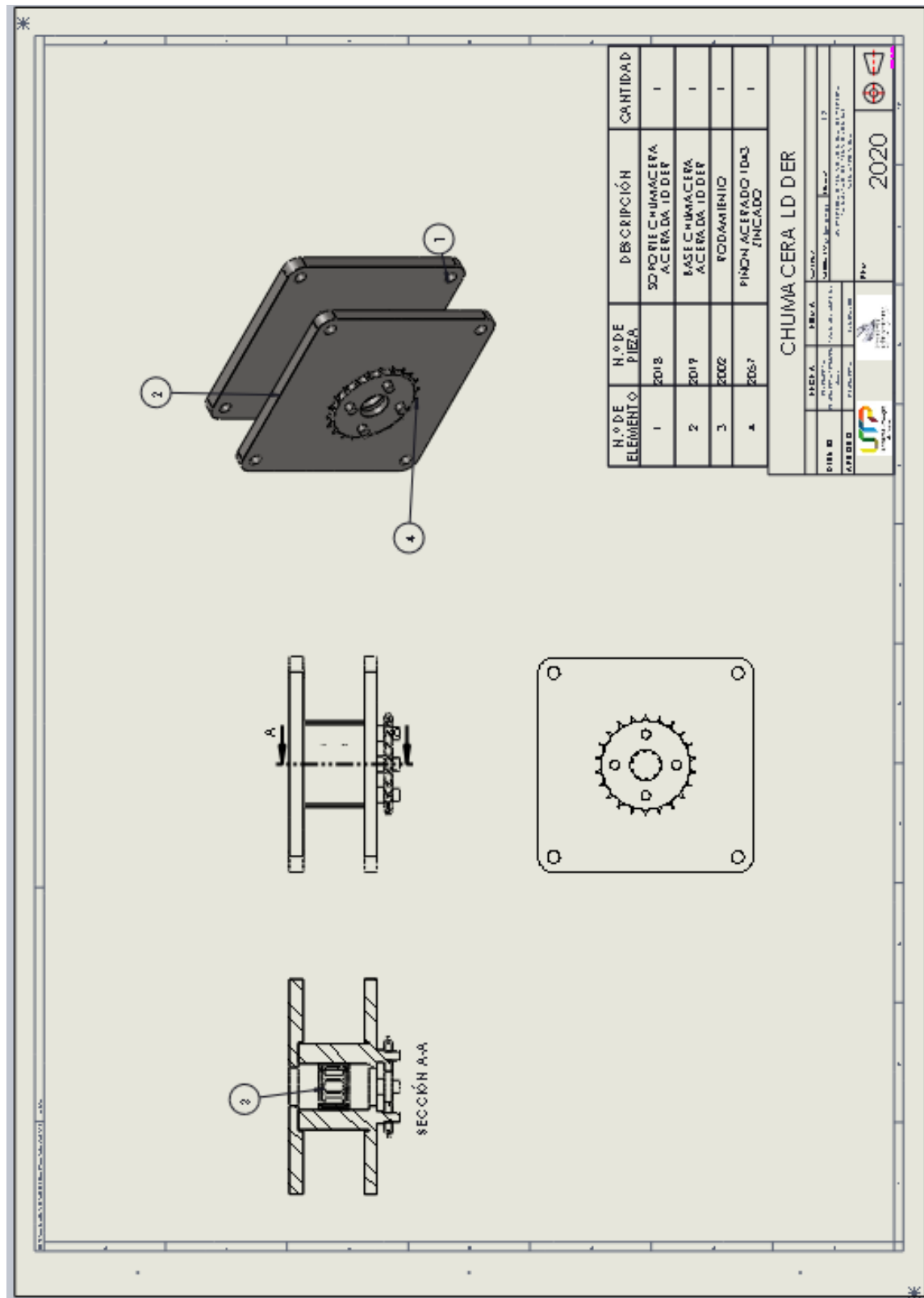
Plano 30: Estructura Chumacera lado izquierdo.



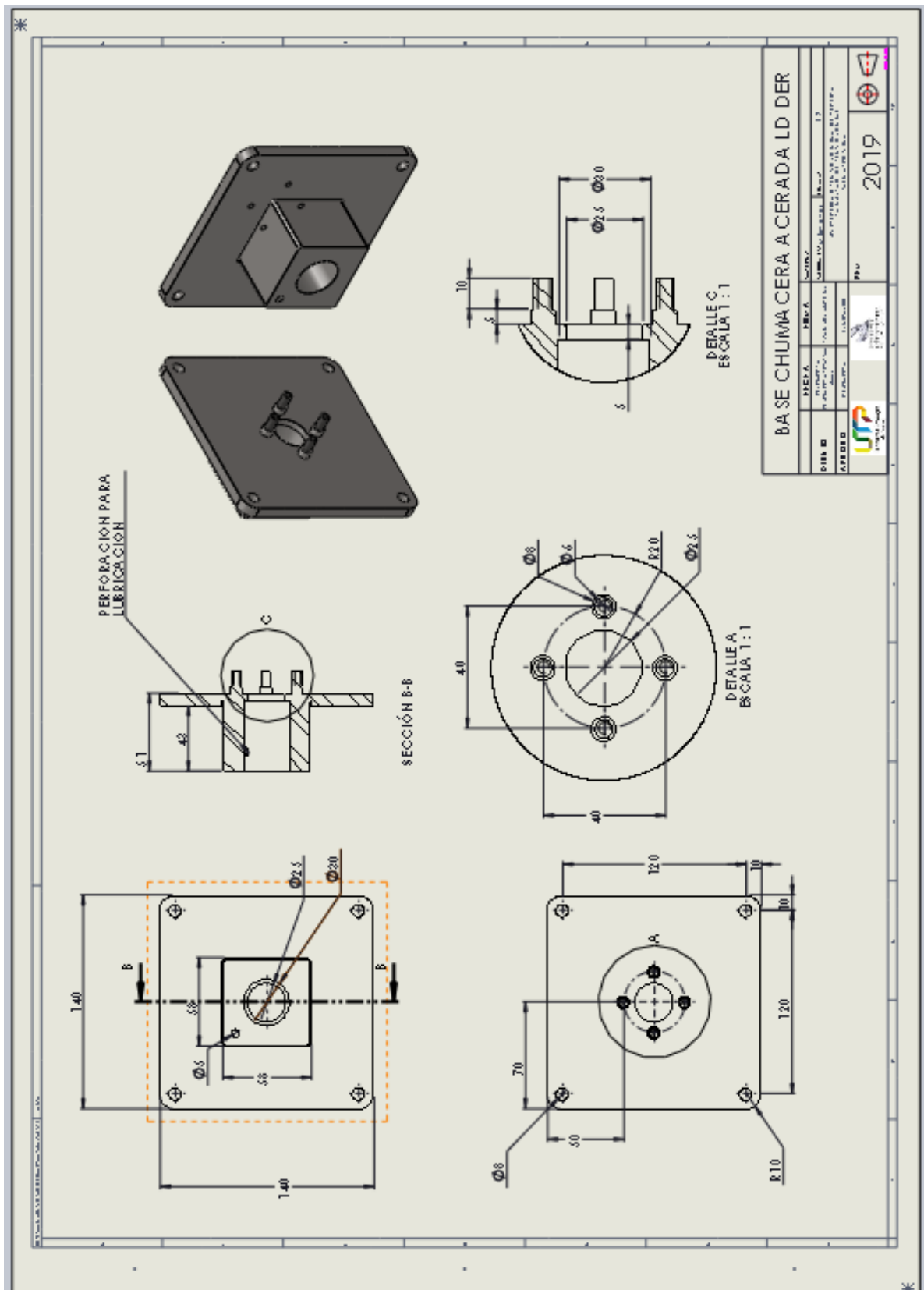
Plano 31: Refuerzo Chumacera lado izquierdo.



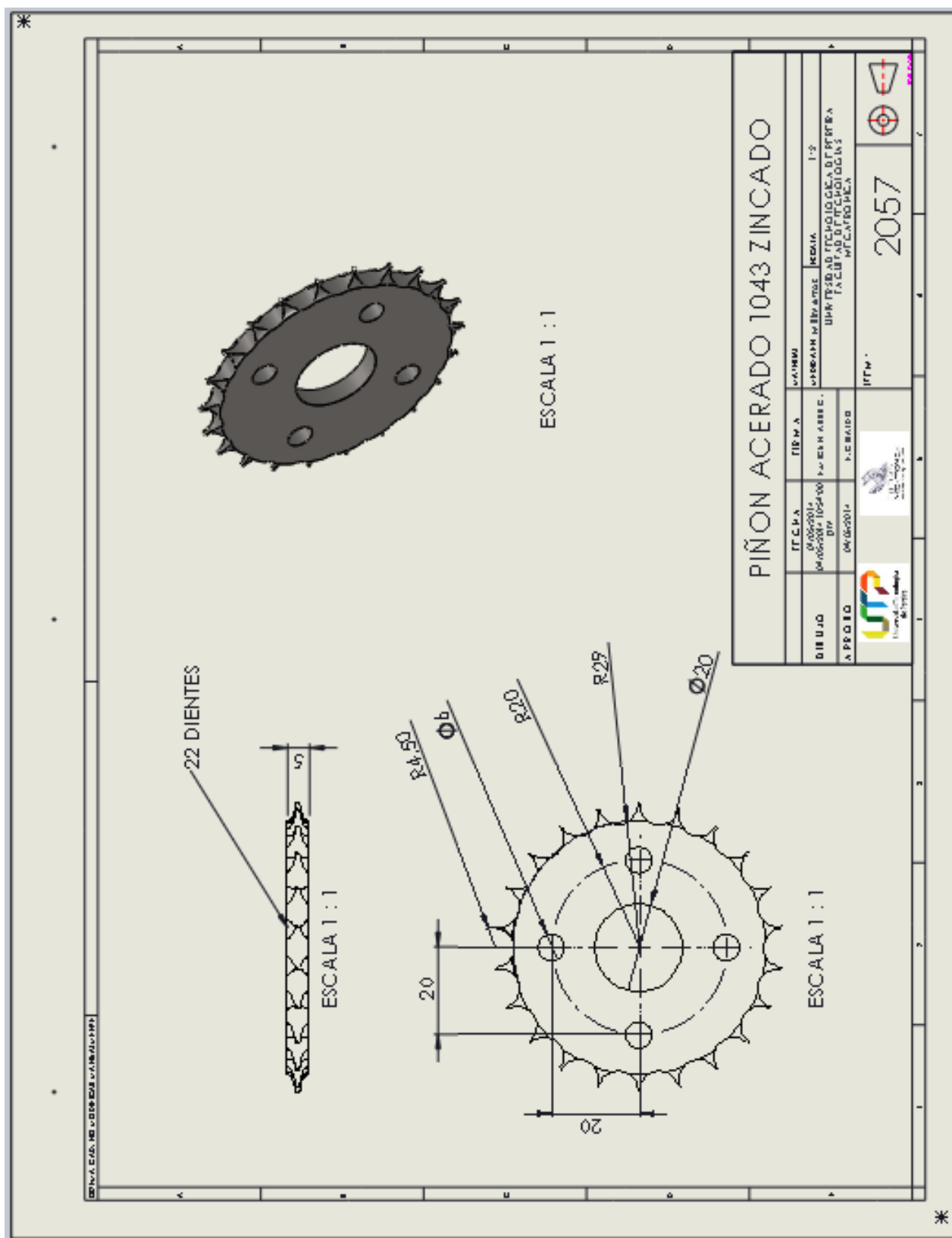
Plano 32: Chumacera lado derecho.



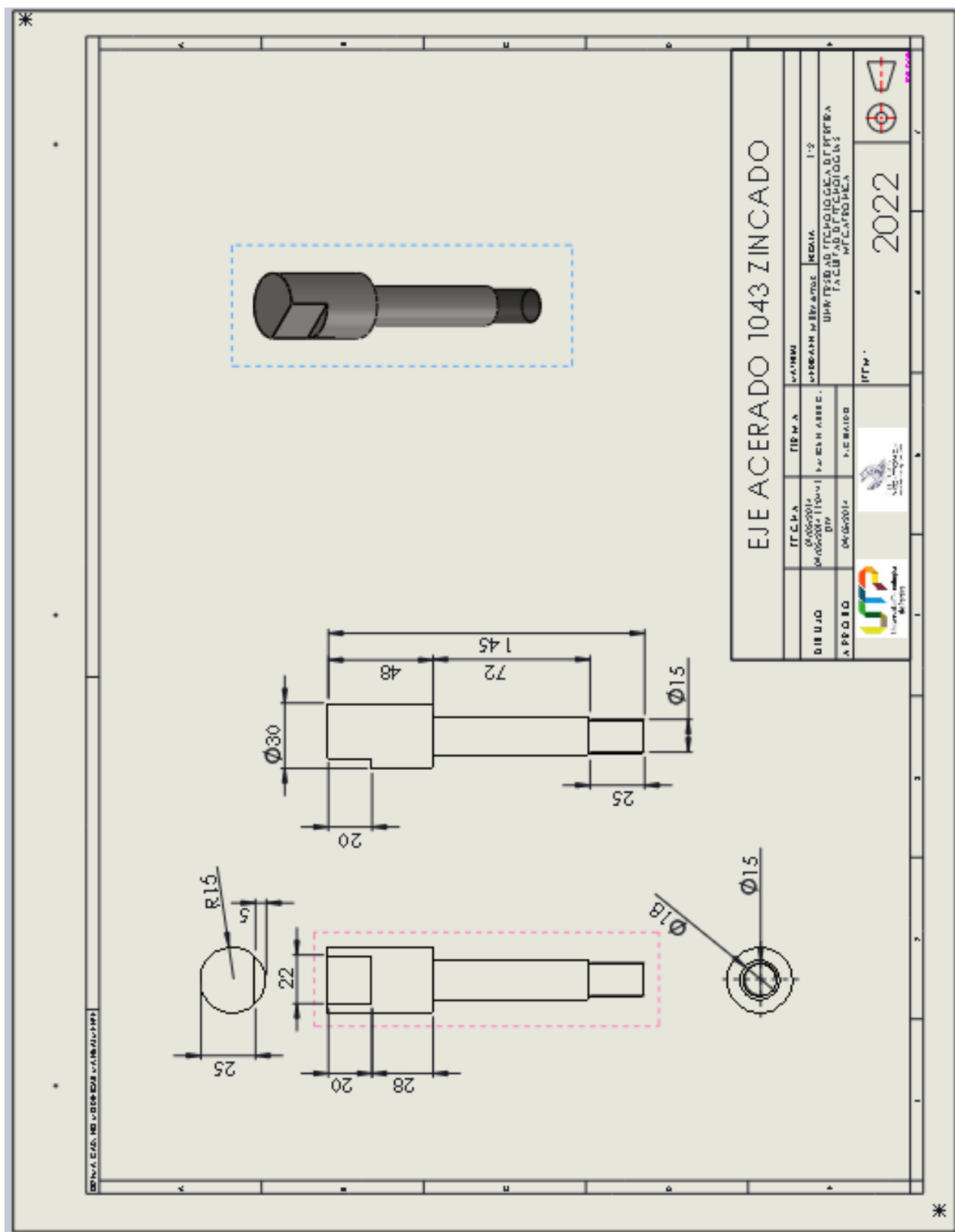
Plano 33: Estructura chumacera lado derecho.



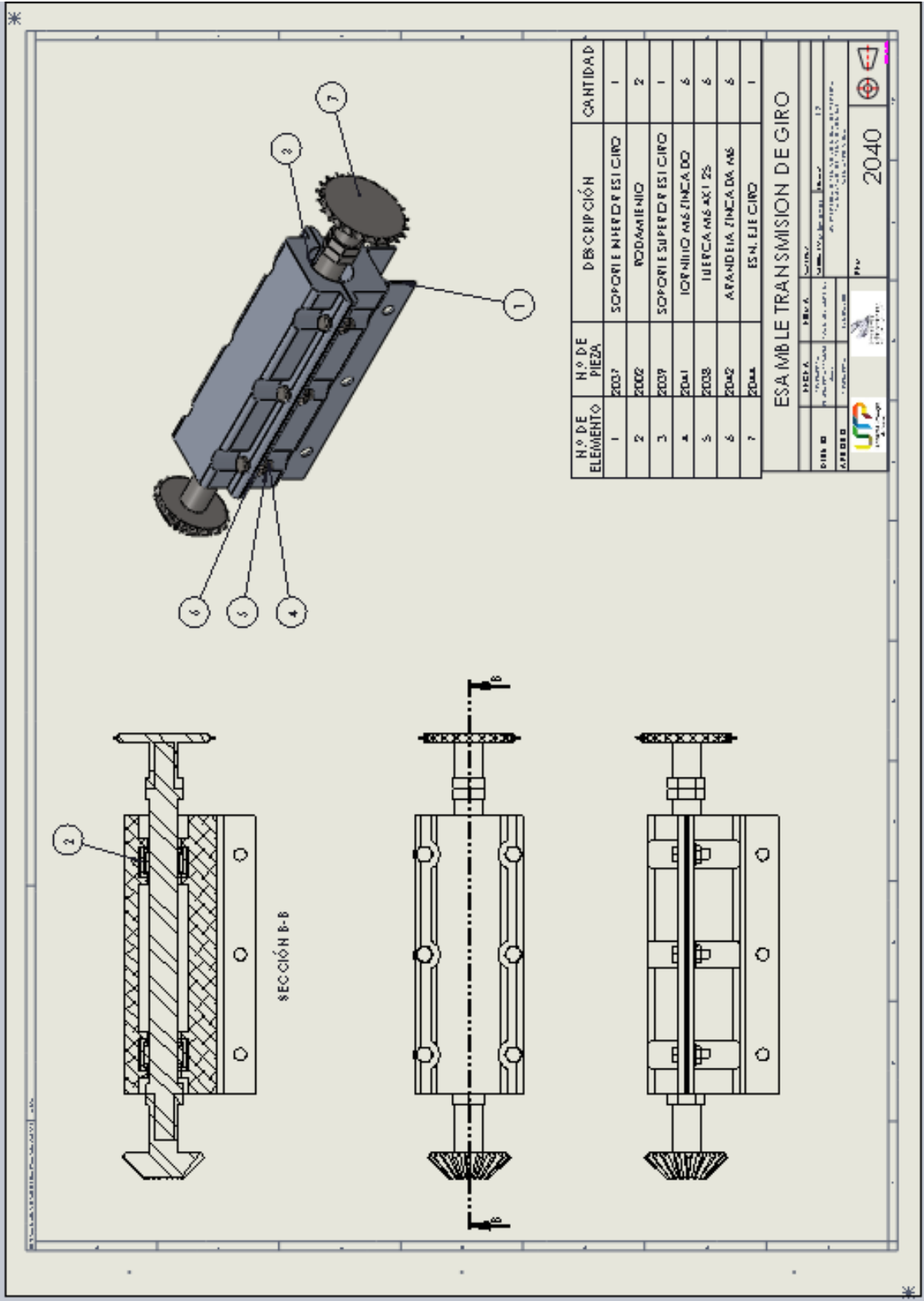
Plano 35: Piñon de cadena estático.



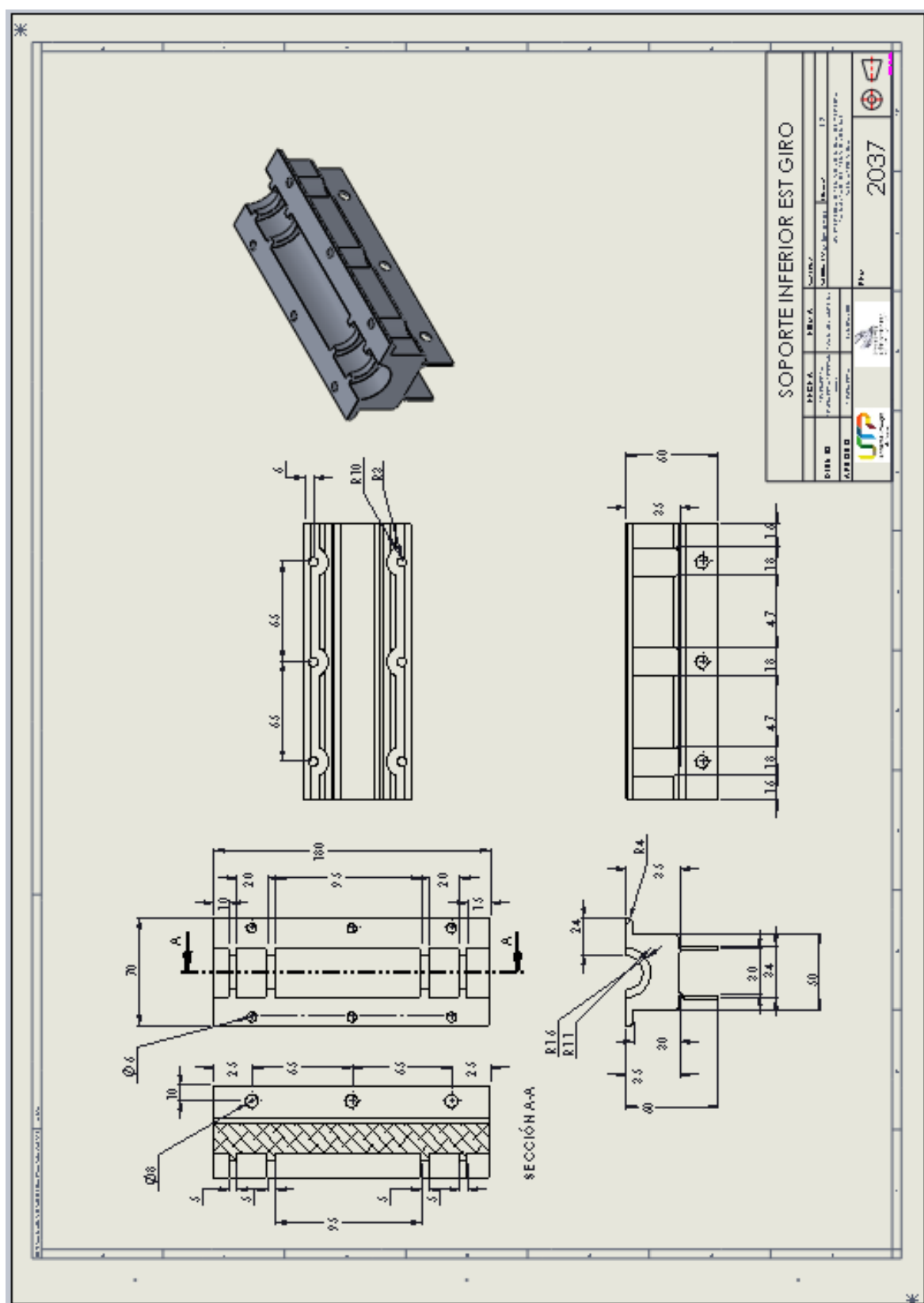
Plano 36: Eje principal.



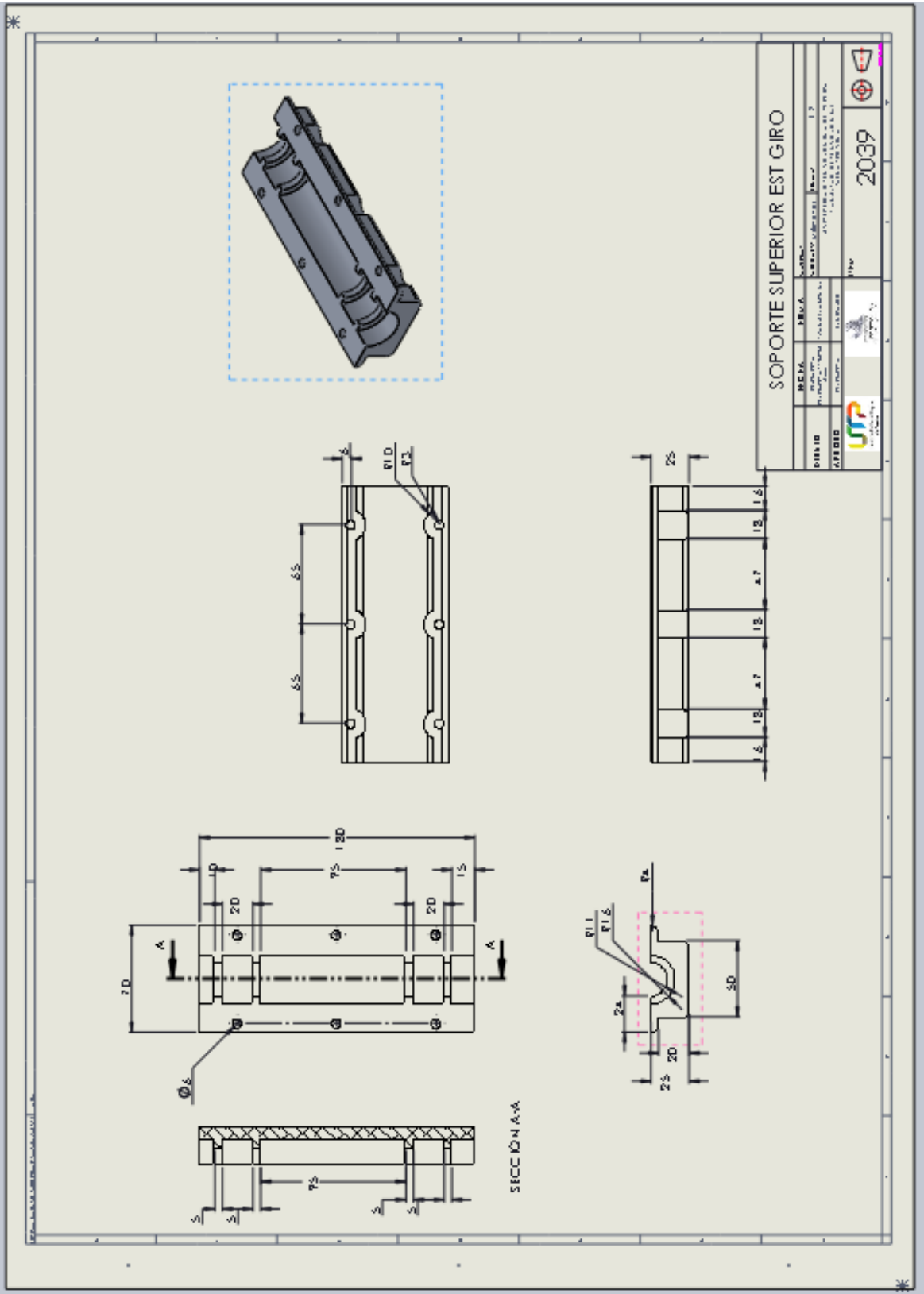
Plano 37: Ensamble transmisión de giro.



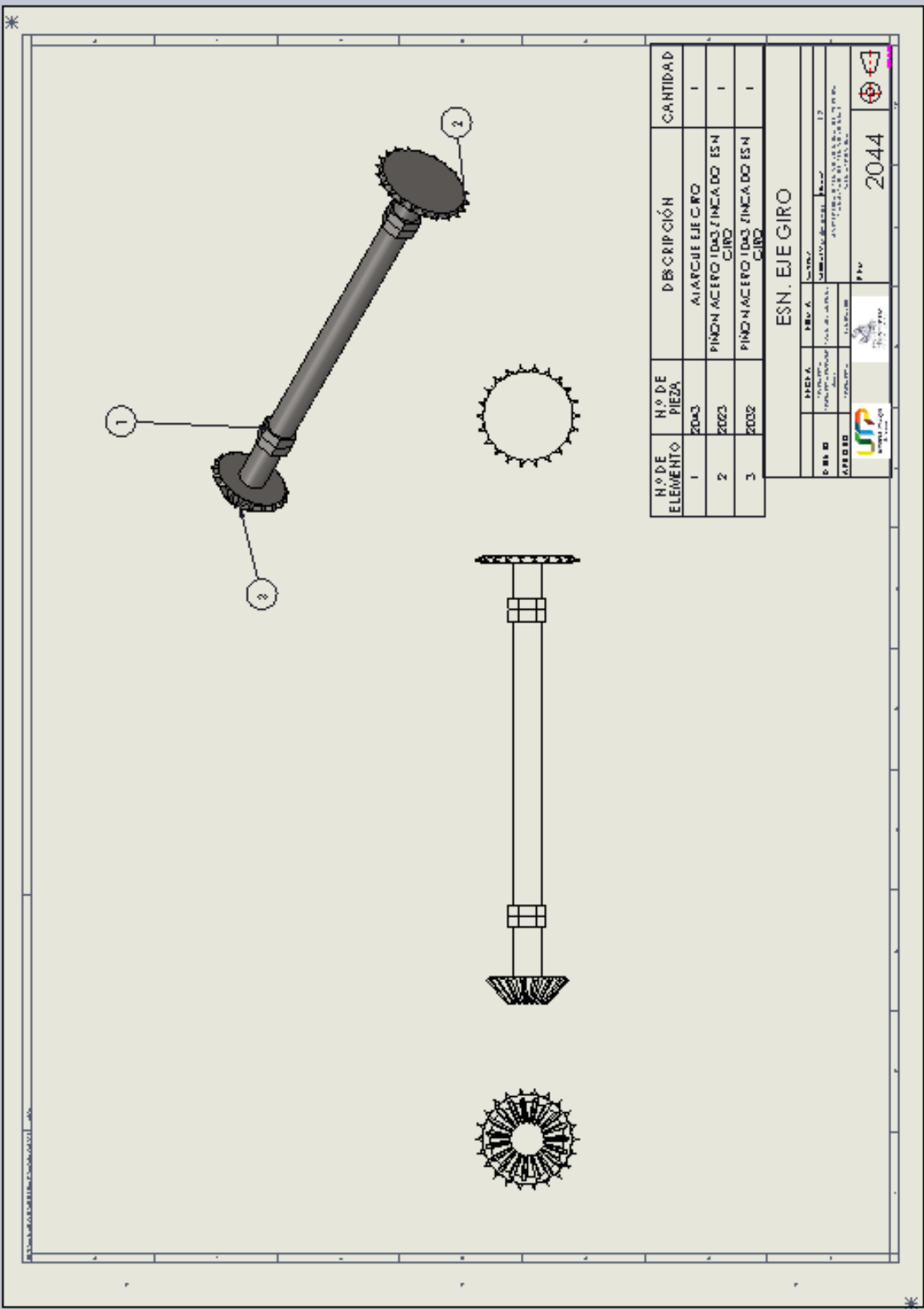
Plano 38: Soporte inferior ensamble giro.



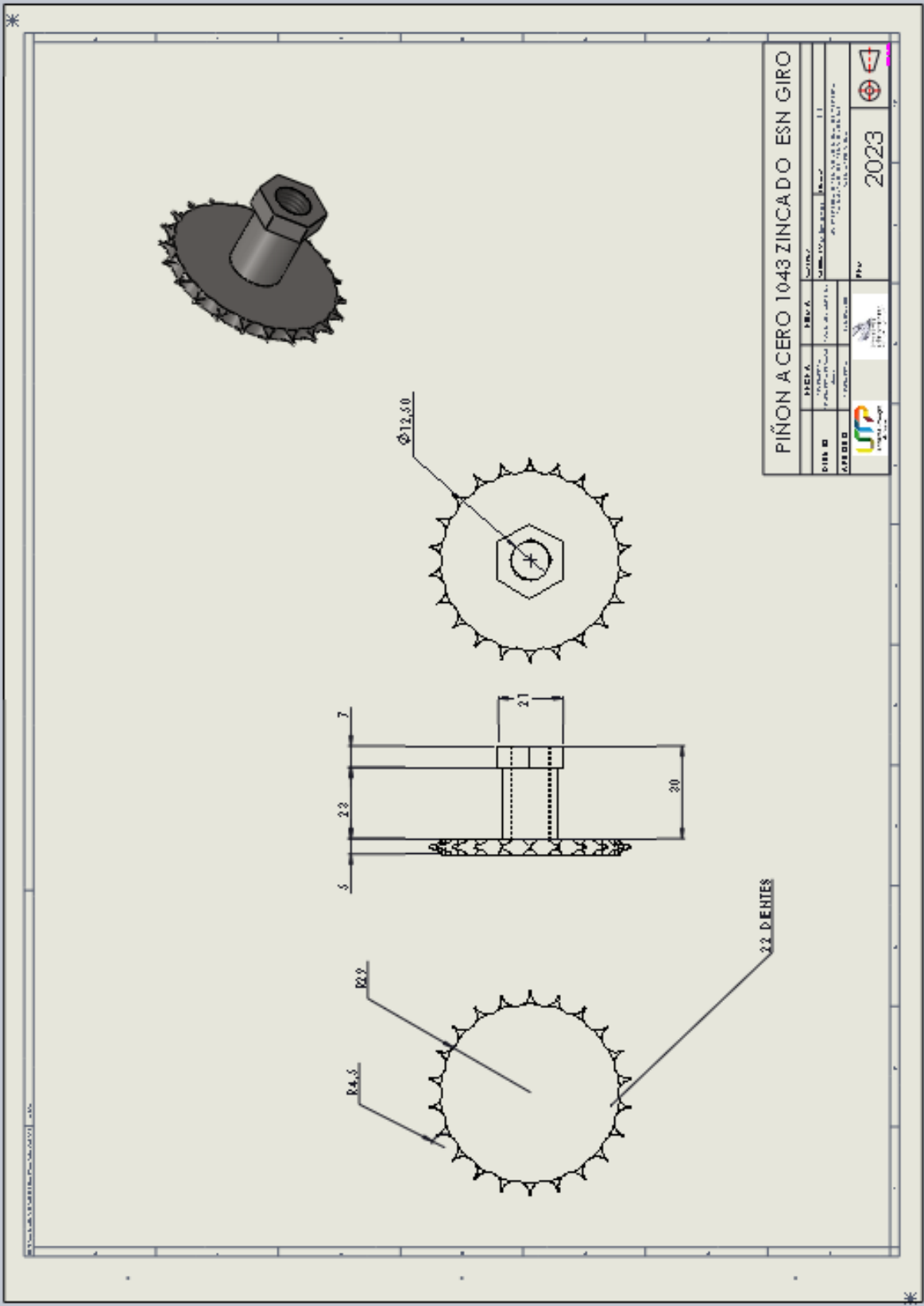
Plano 39: Soporte superior ensamble giro.



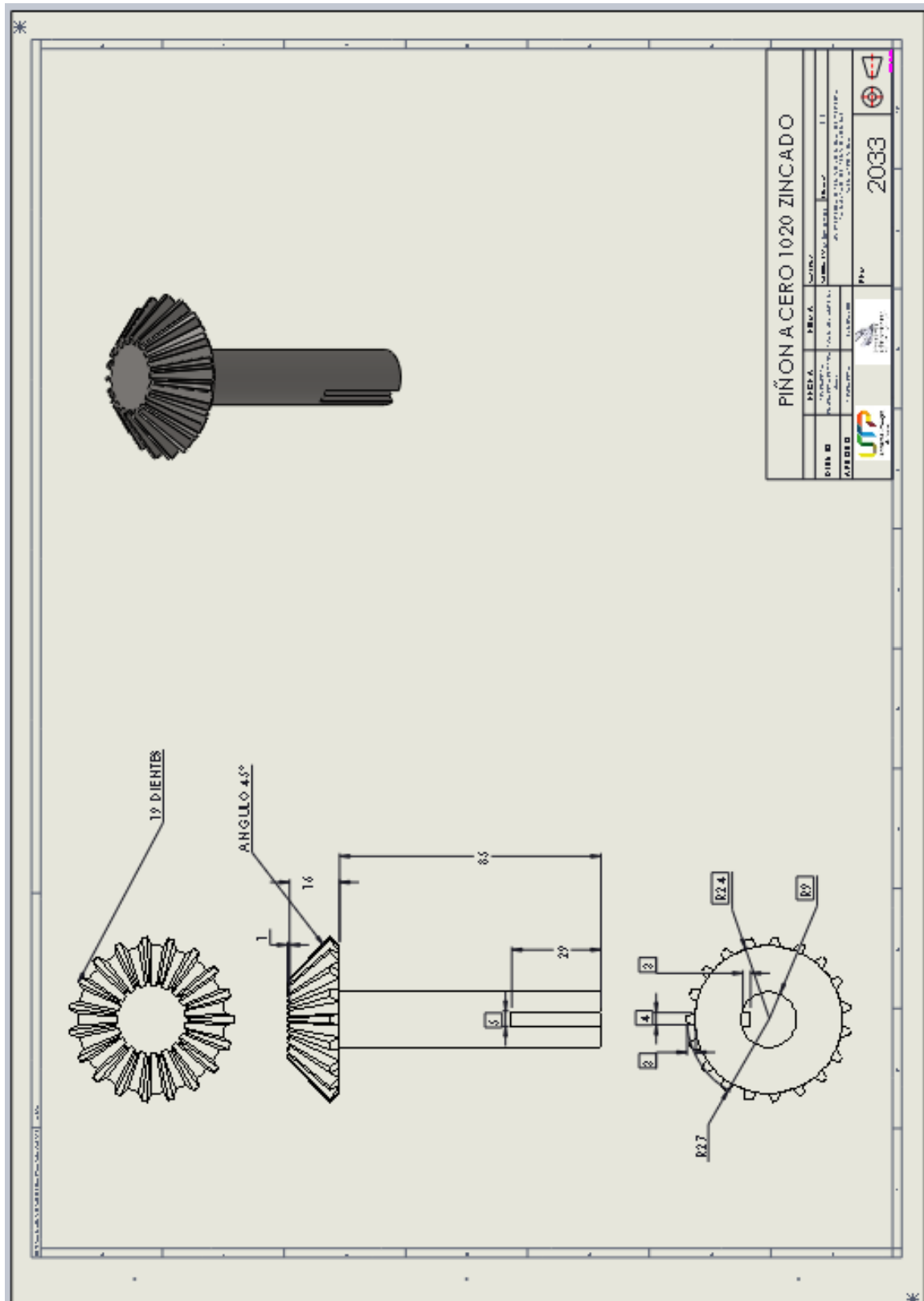
Plano 40: Ensamble eje giro.



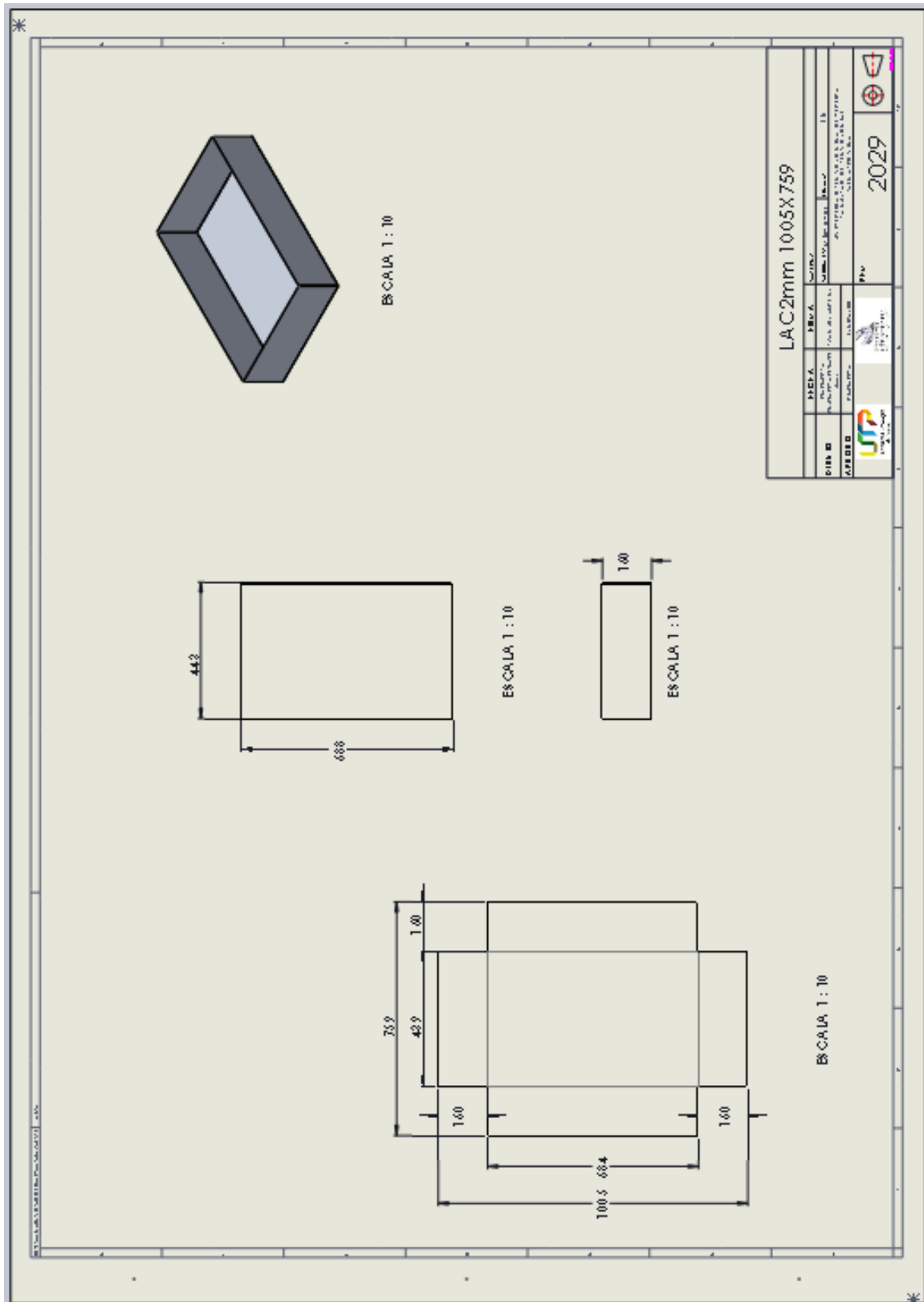
Plano 43: Piñón de cadena ensamble giro.



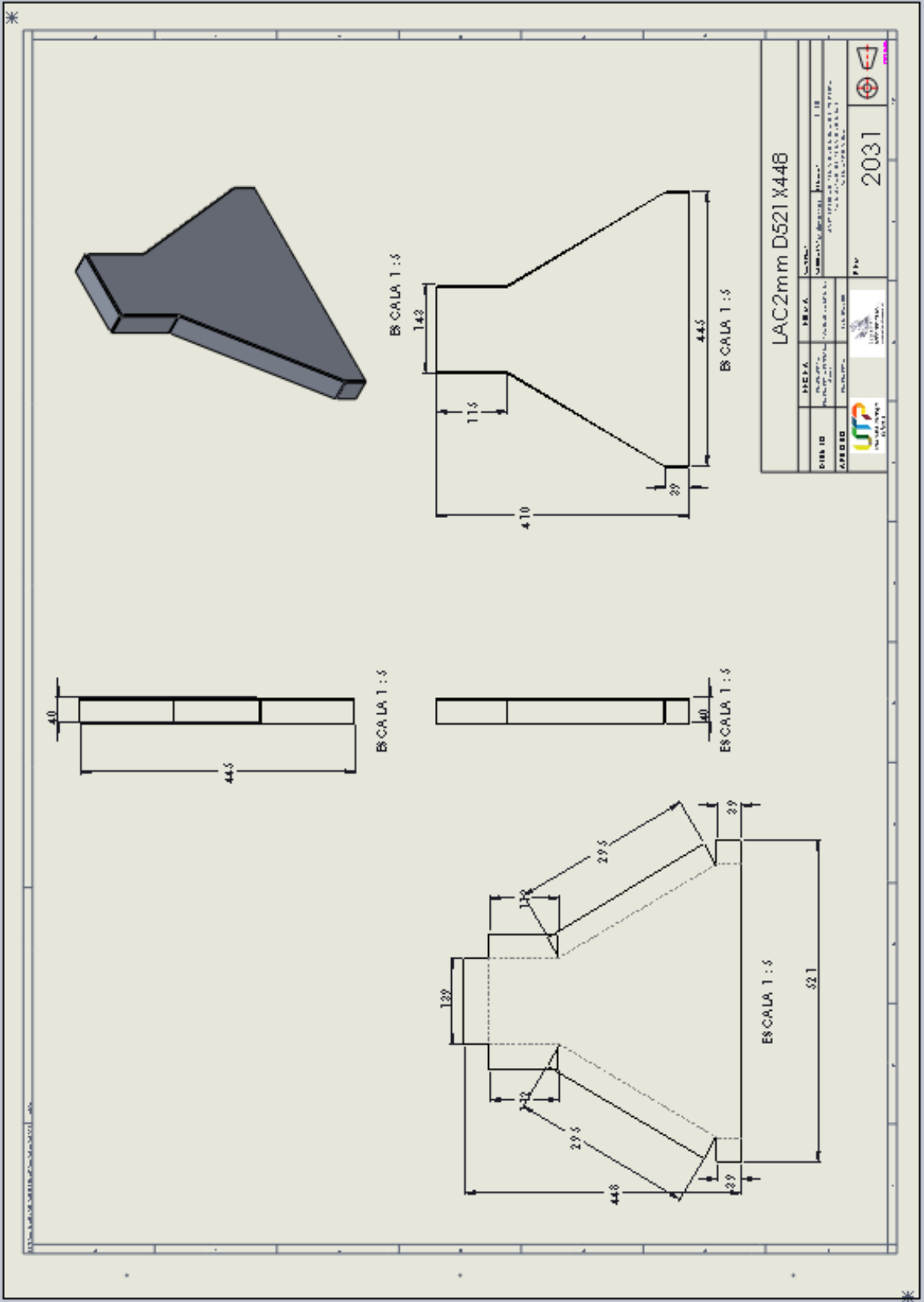
Plano 44: Piñón 45° giro.



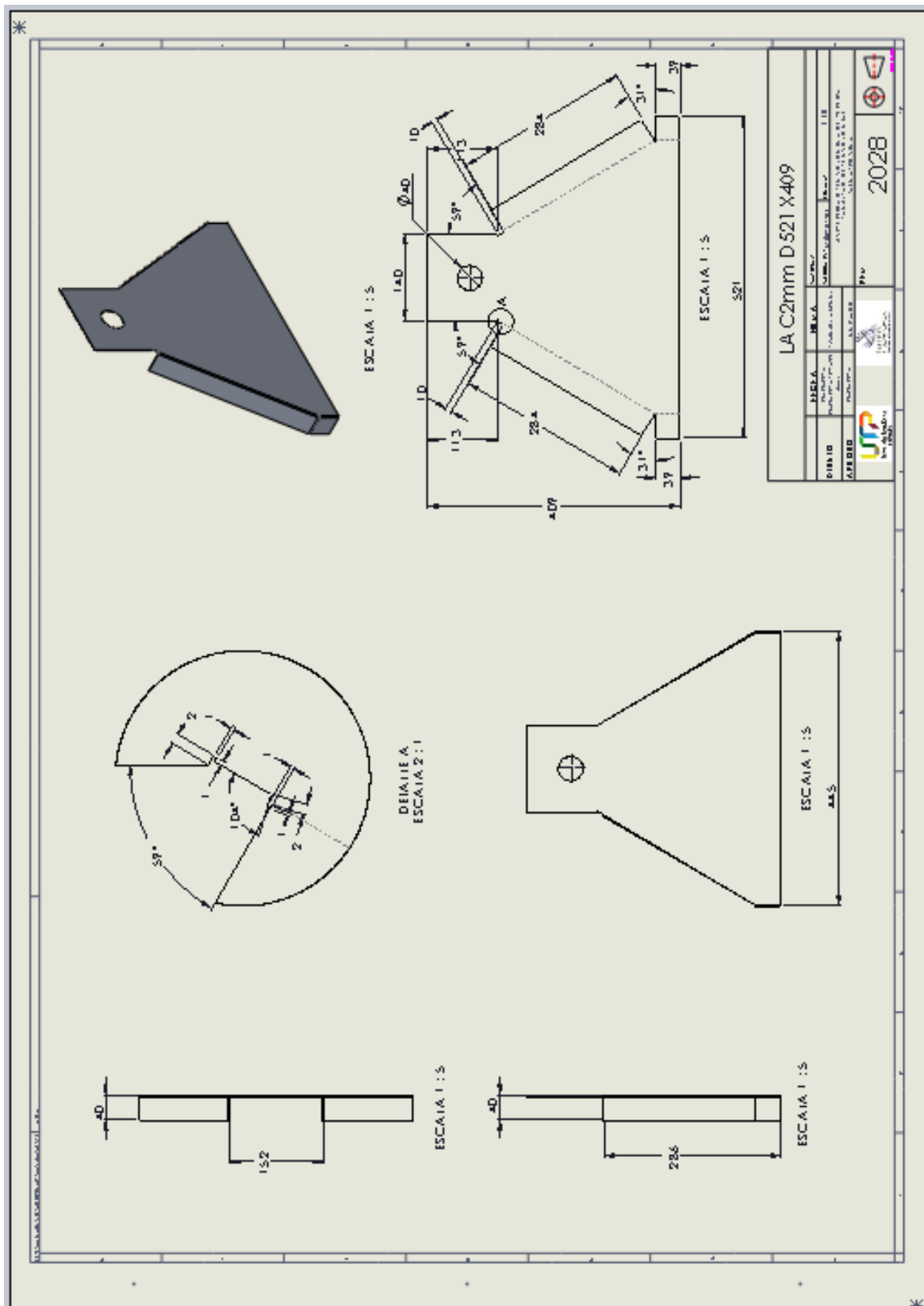
Plano 45: Lamina inferior.



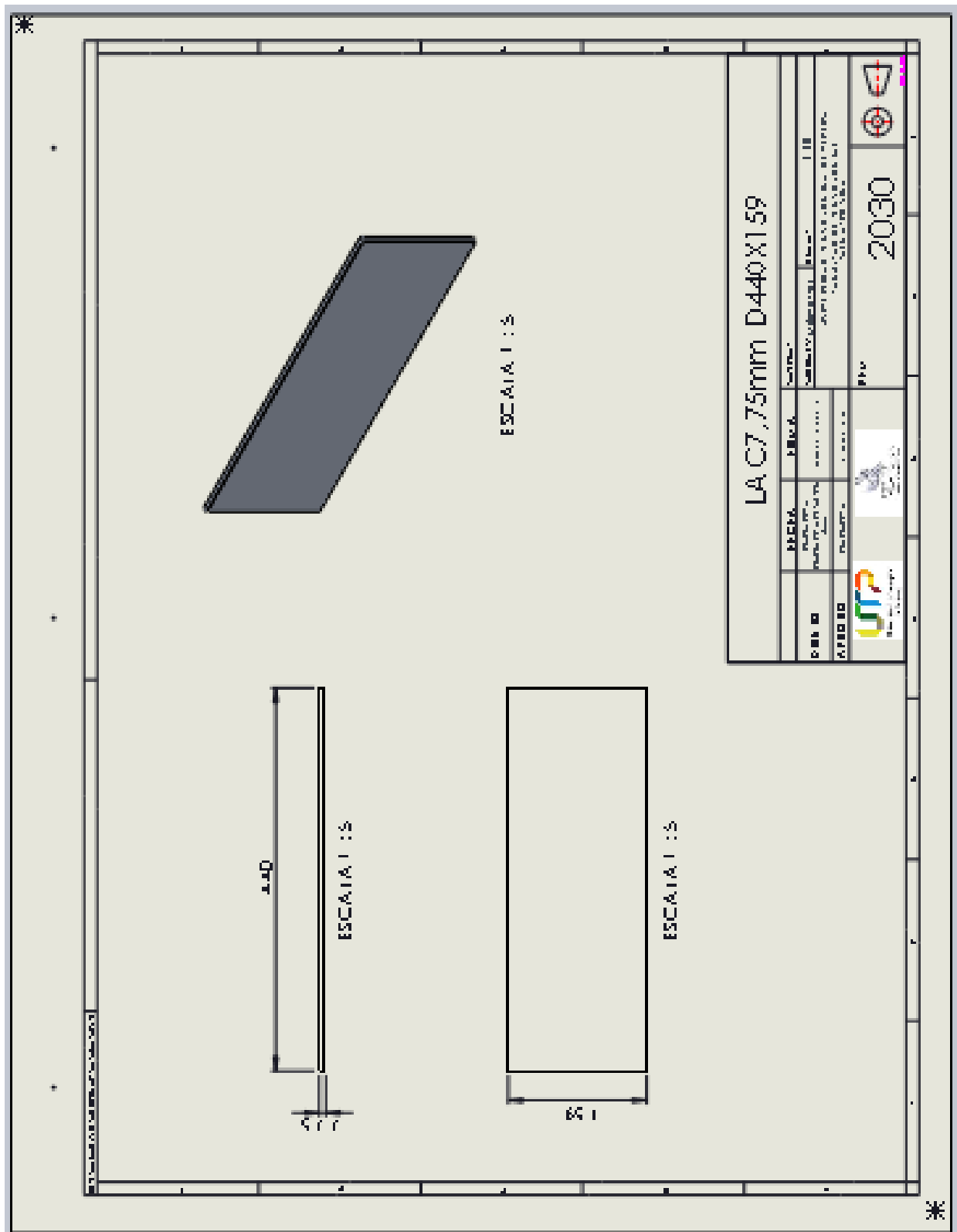
Plano 46: Lamina lateral lado izquierdo.



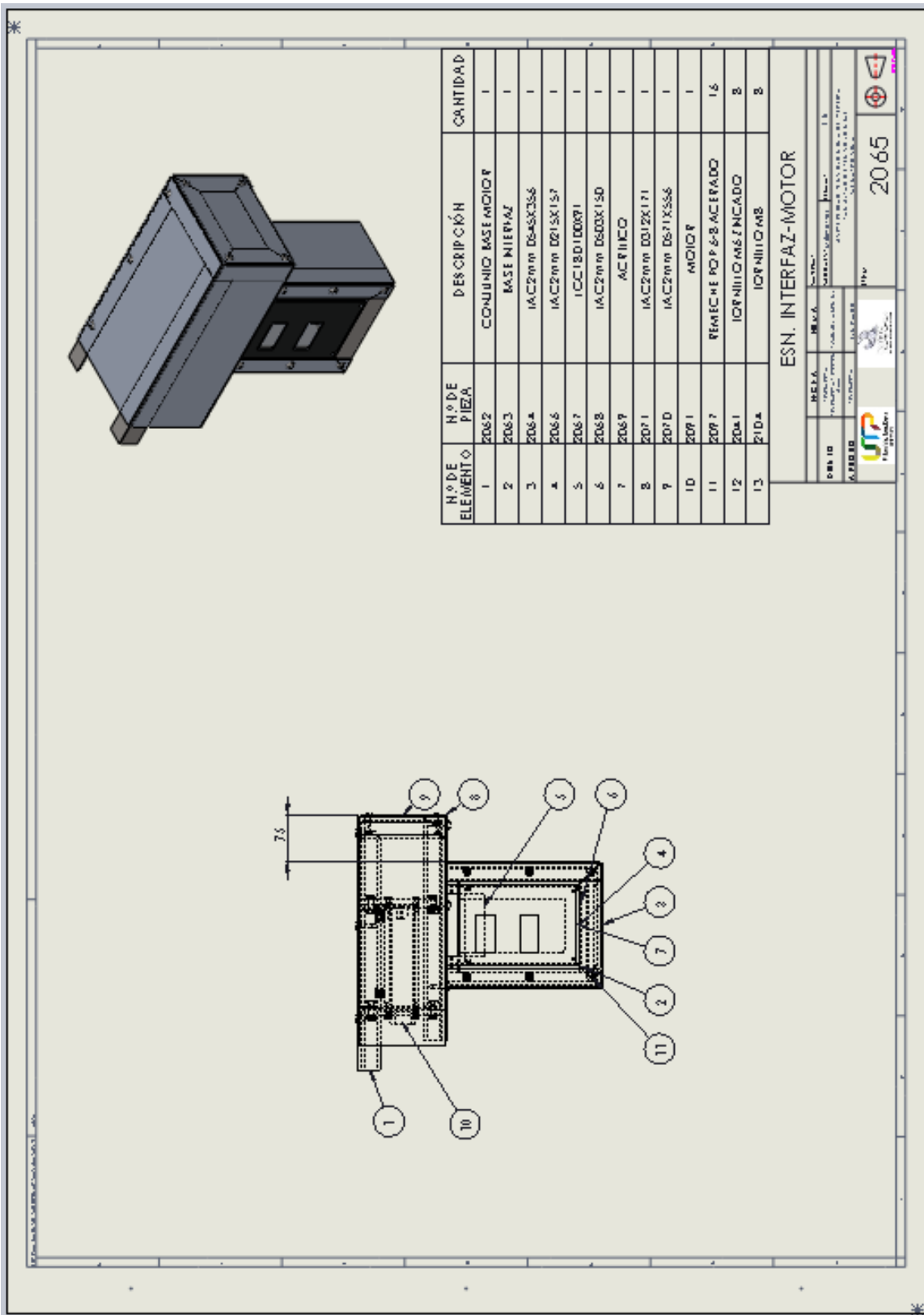
Plano 47: Lamina lateral lado derecho.



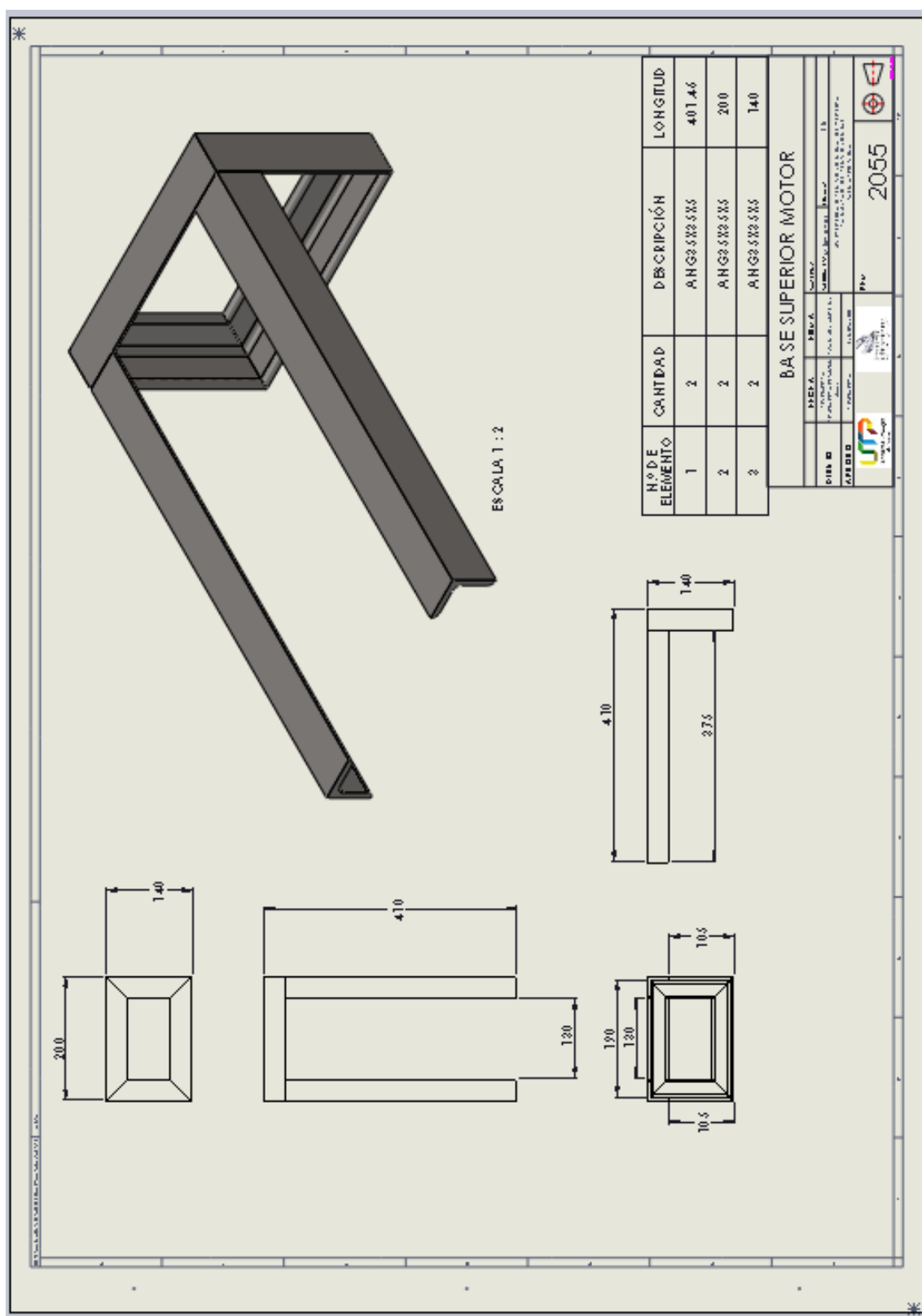
Plano 48: Lamina complemento lado derecho.



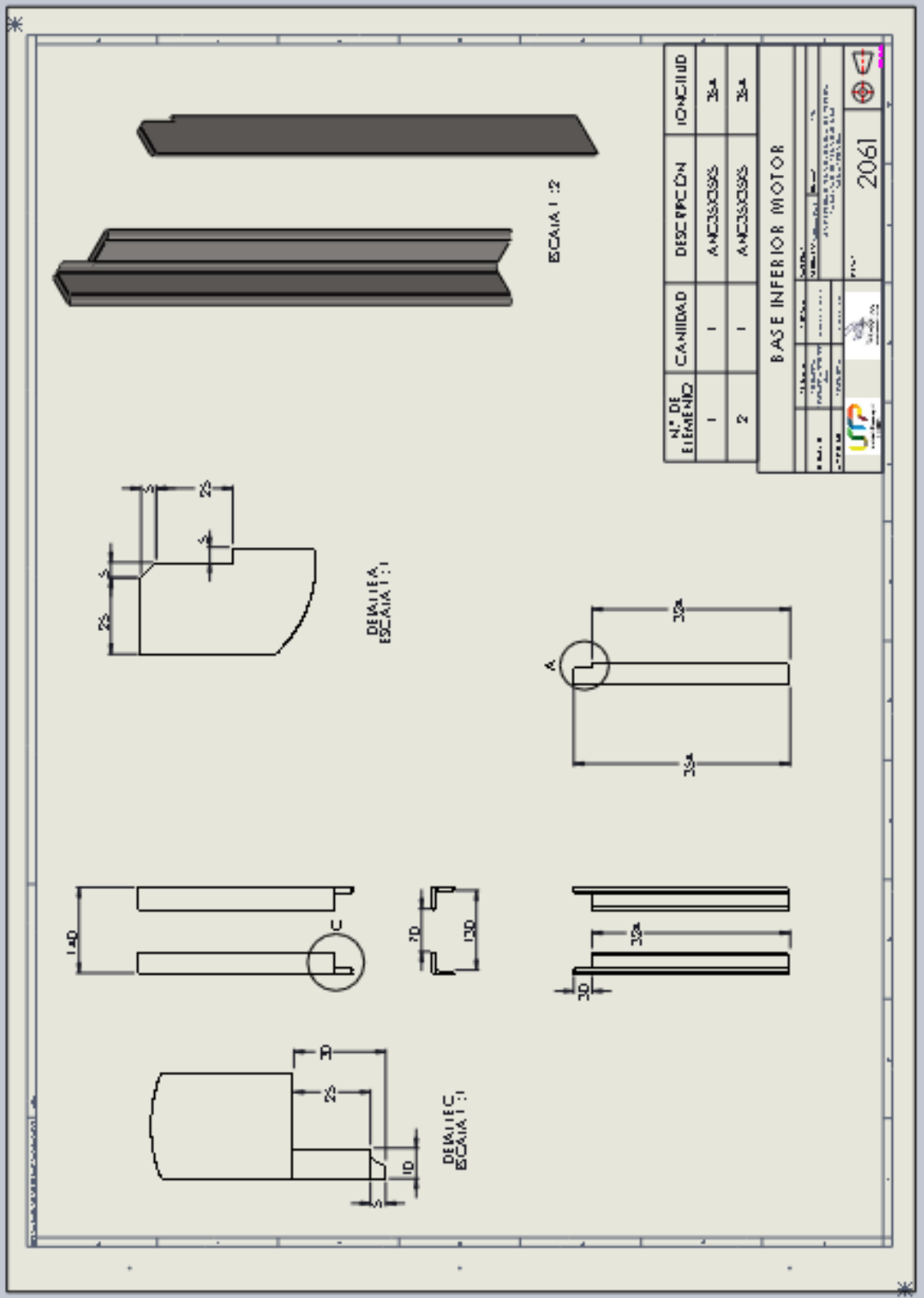
Plano 49: Ensamble interfaz-motor.



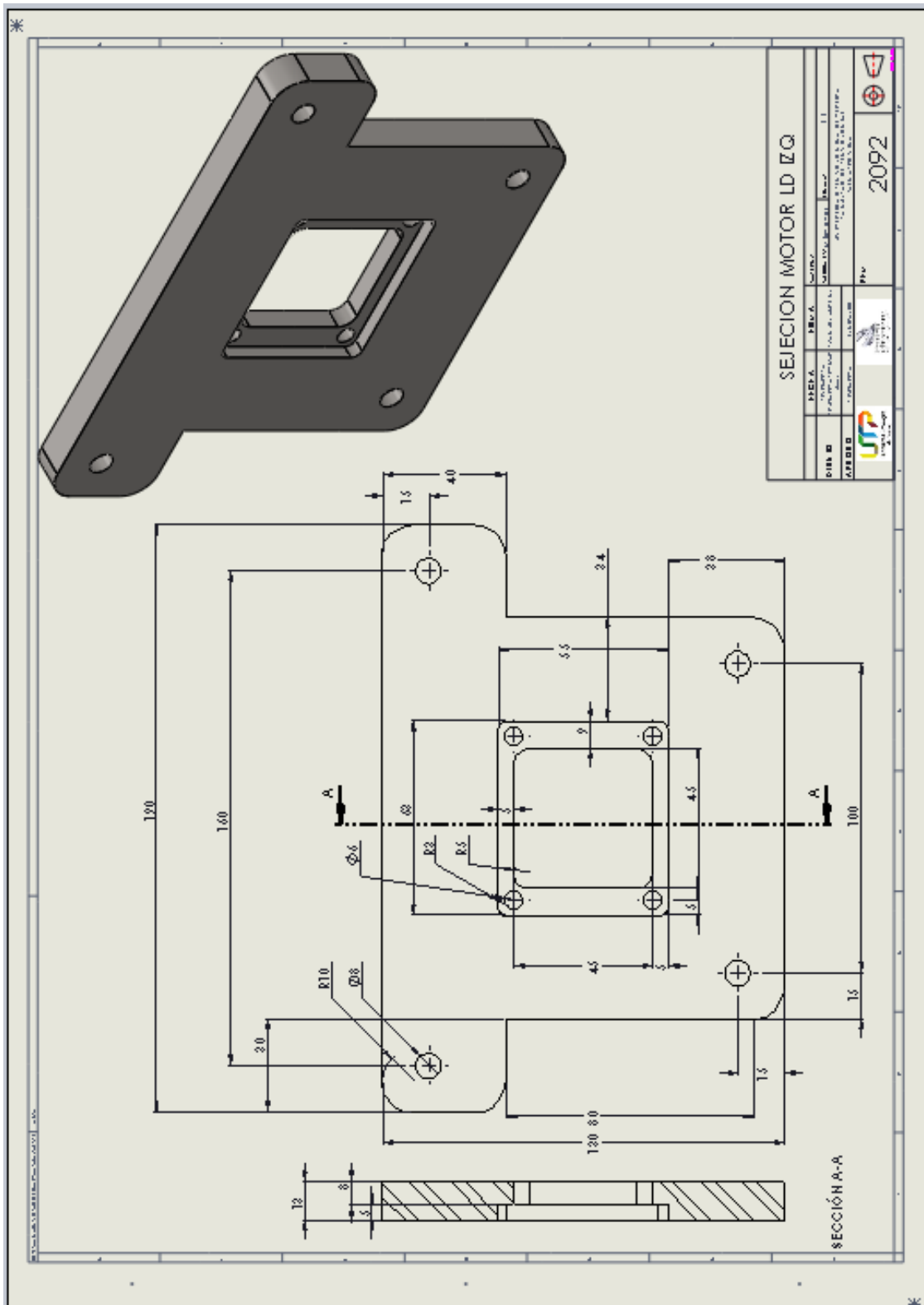
Plano 51: Base superior motor.



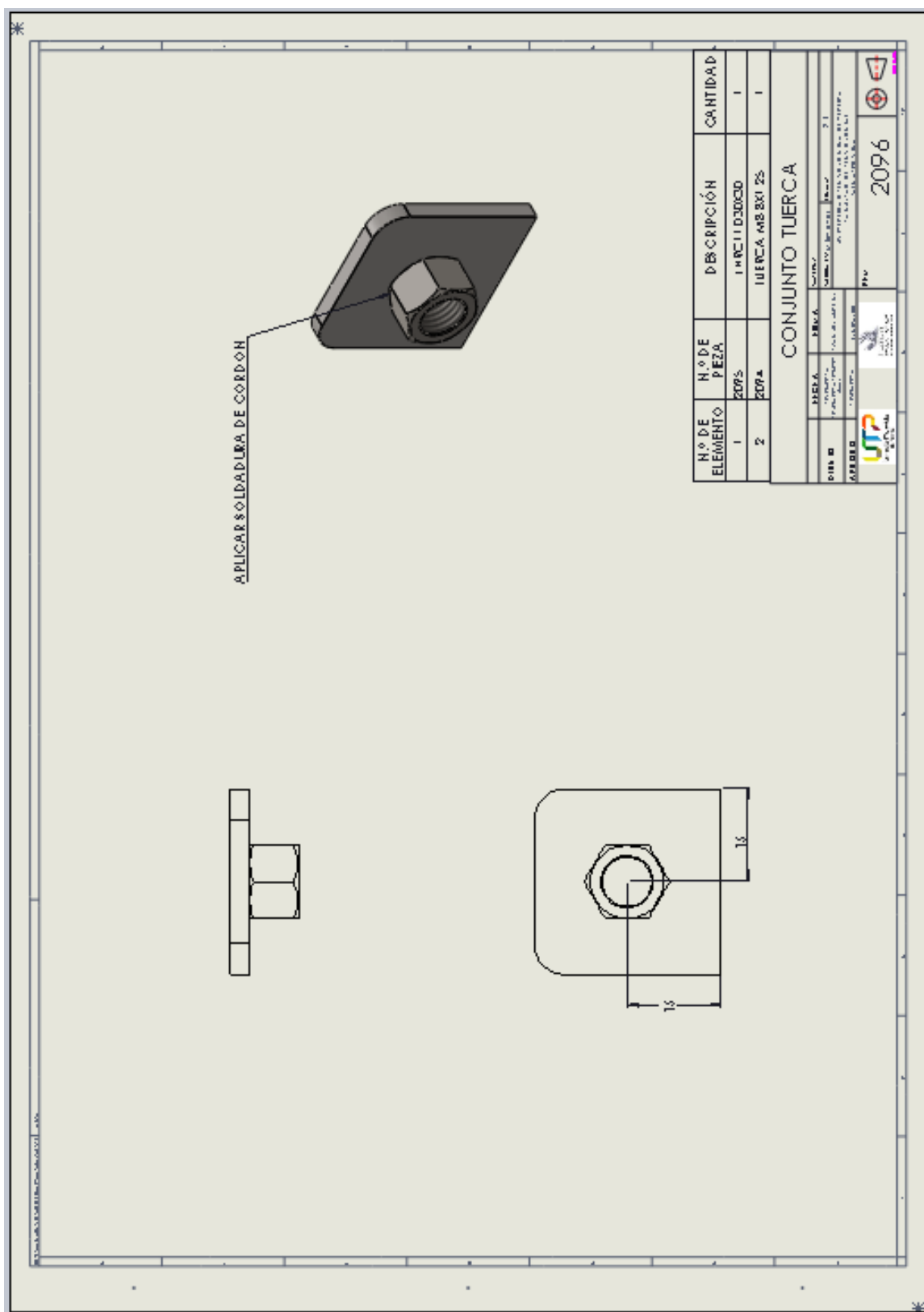
Plano 52: Base inferior motor.



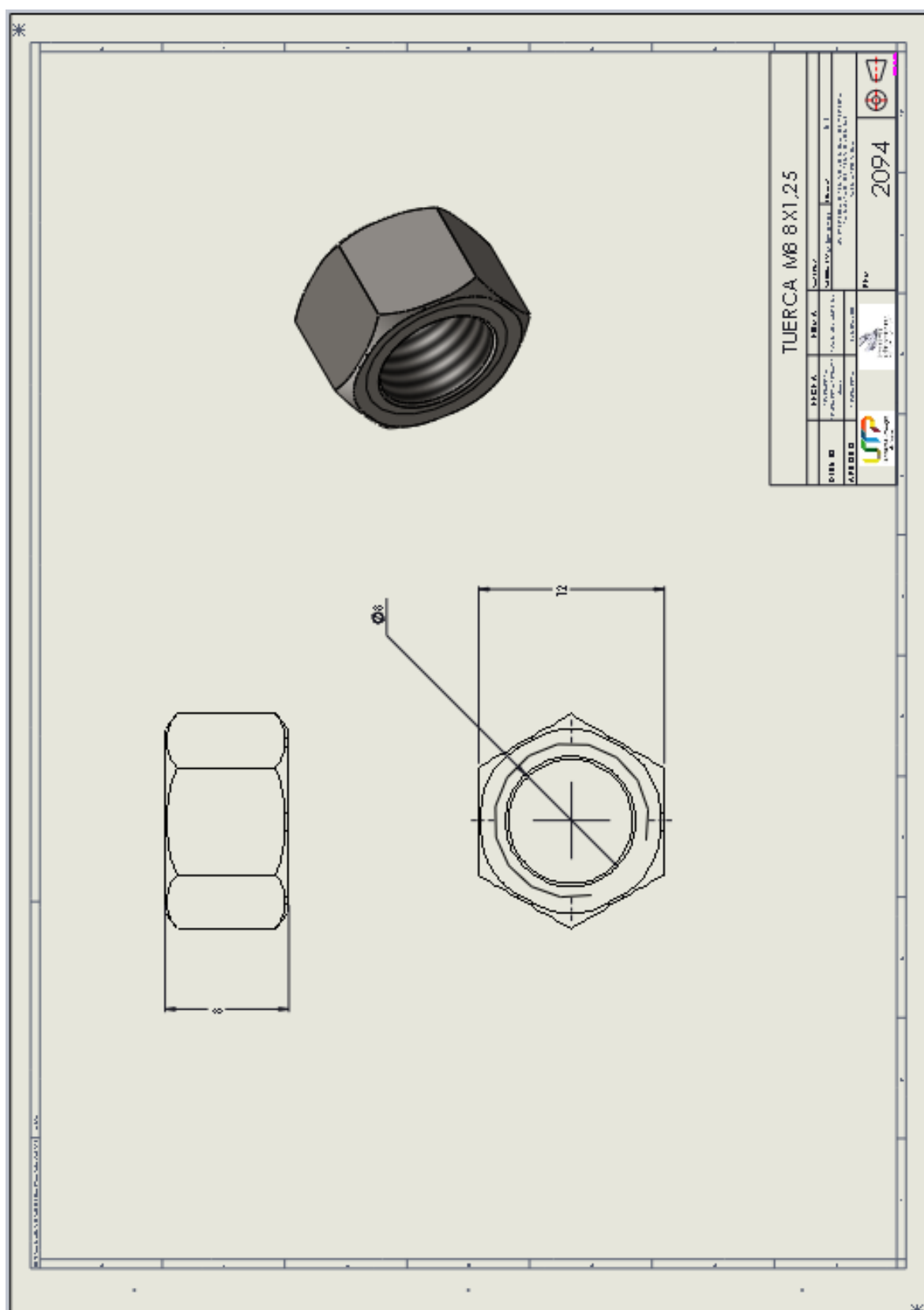
Plano 53: Sujeción motor lado izquierdo.



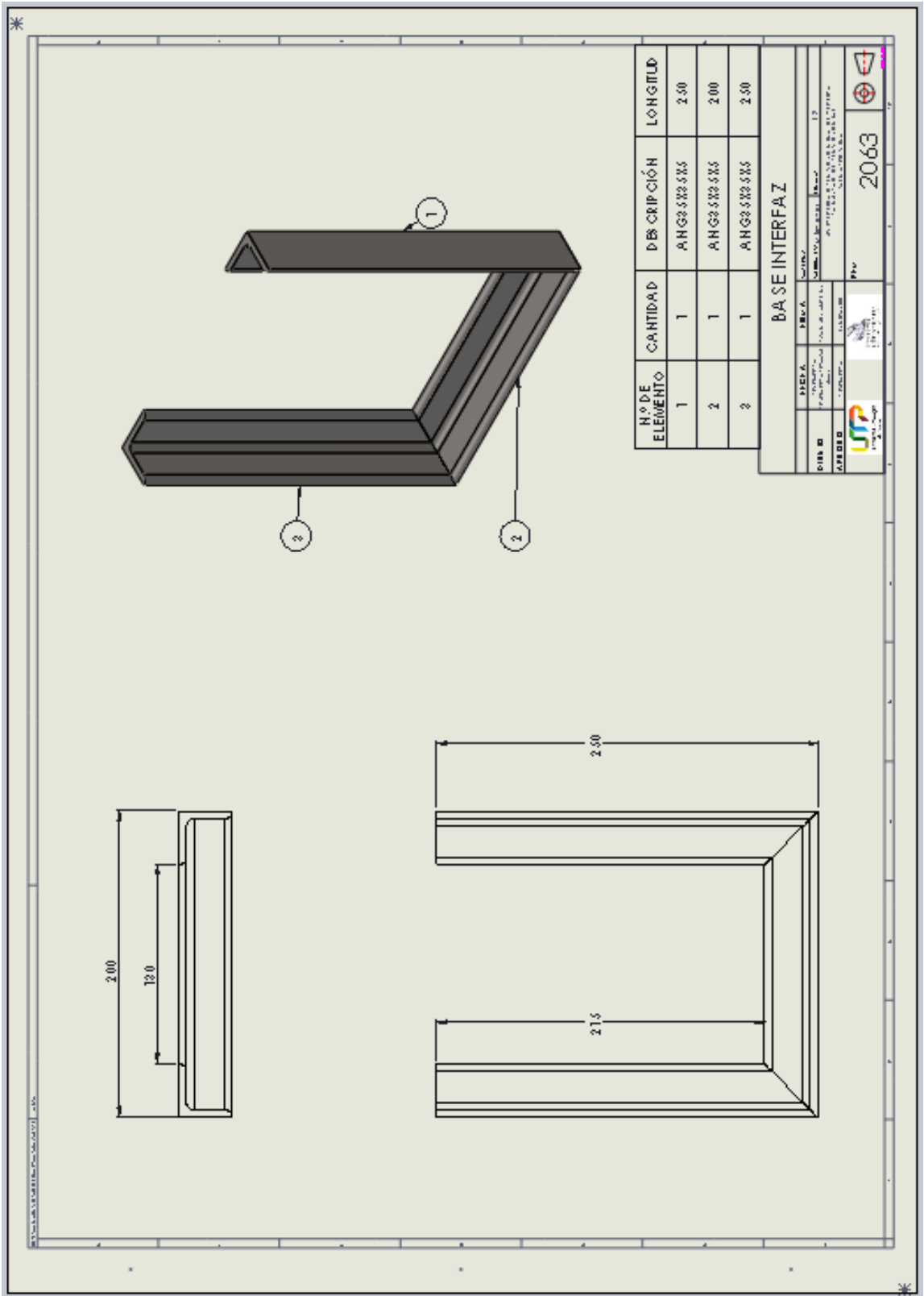
Plano 55: conjunto tuerca.



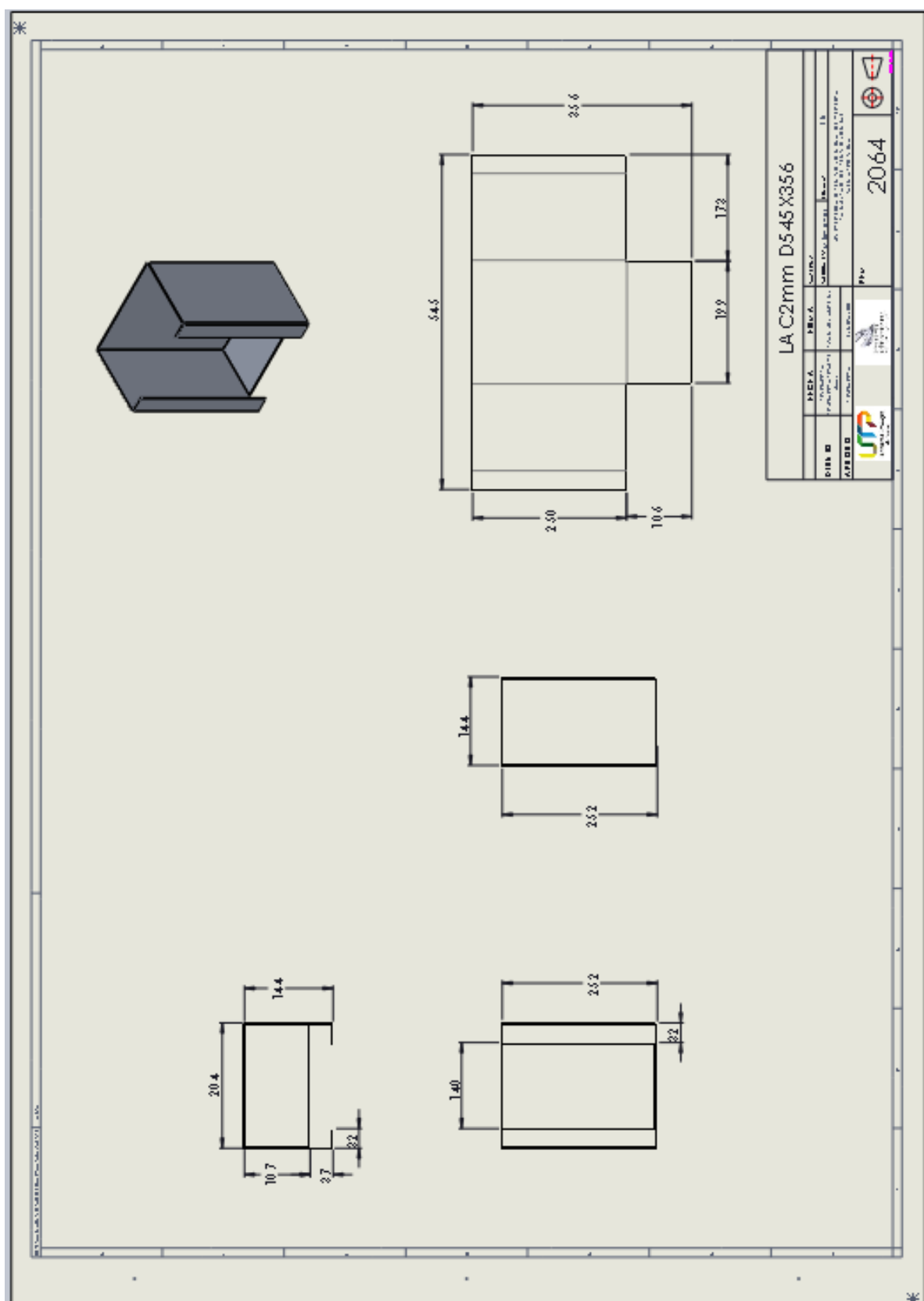
Plano 56: Tuerca sujeción motor.



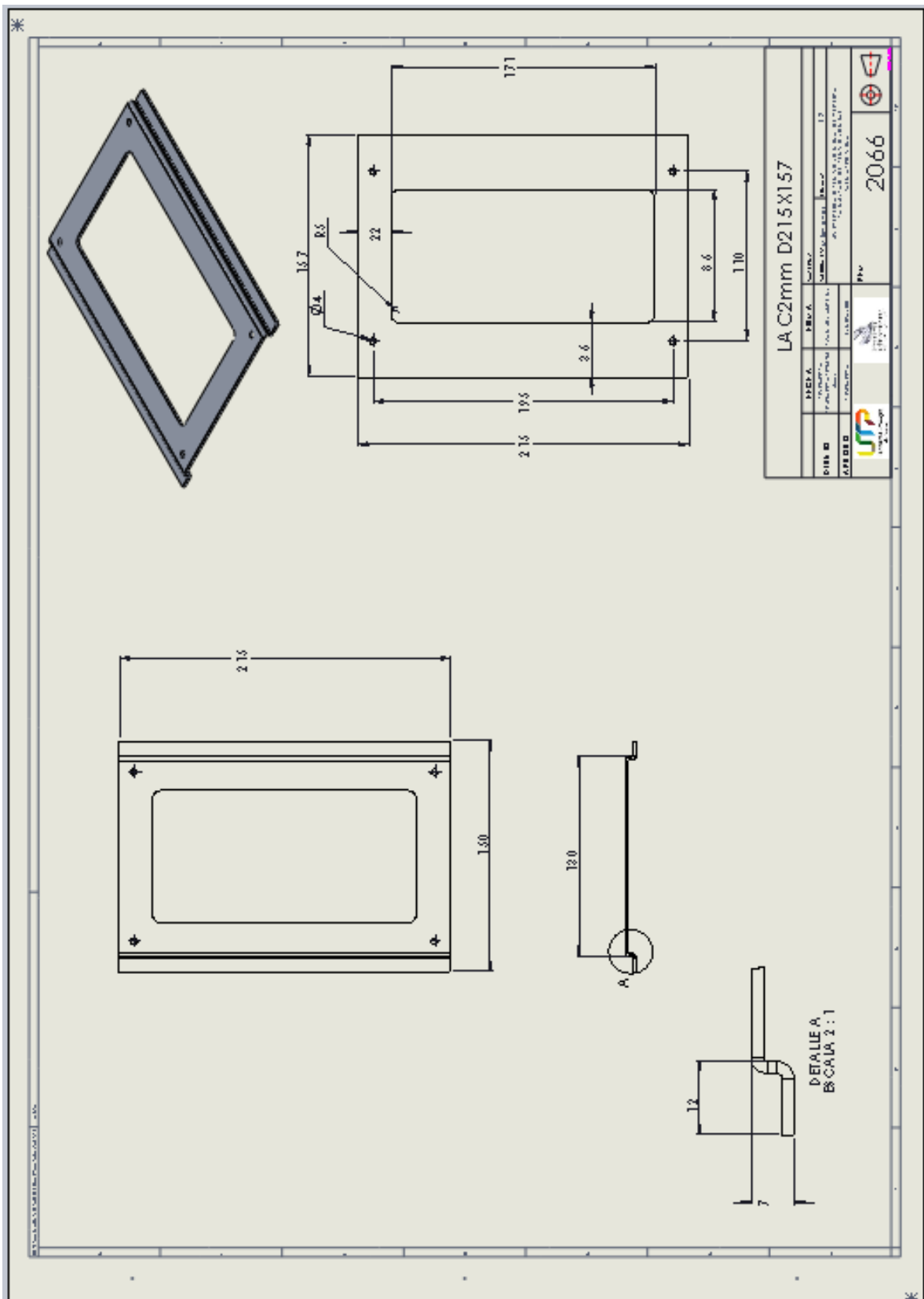
Plano 58: Base interfaz.



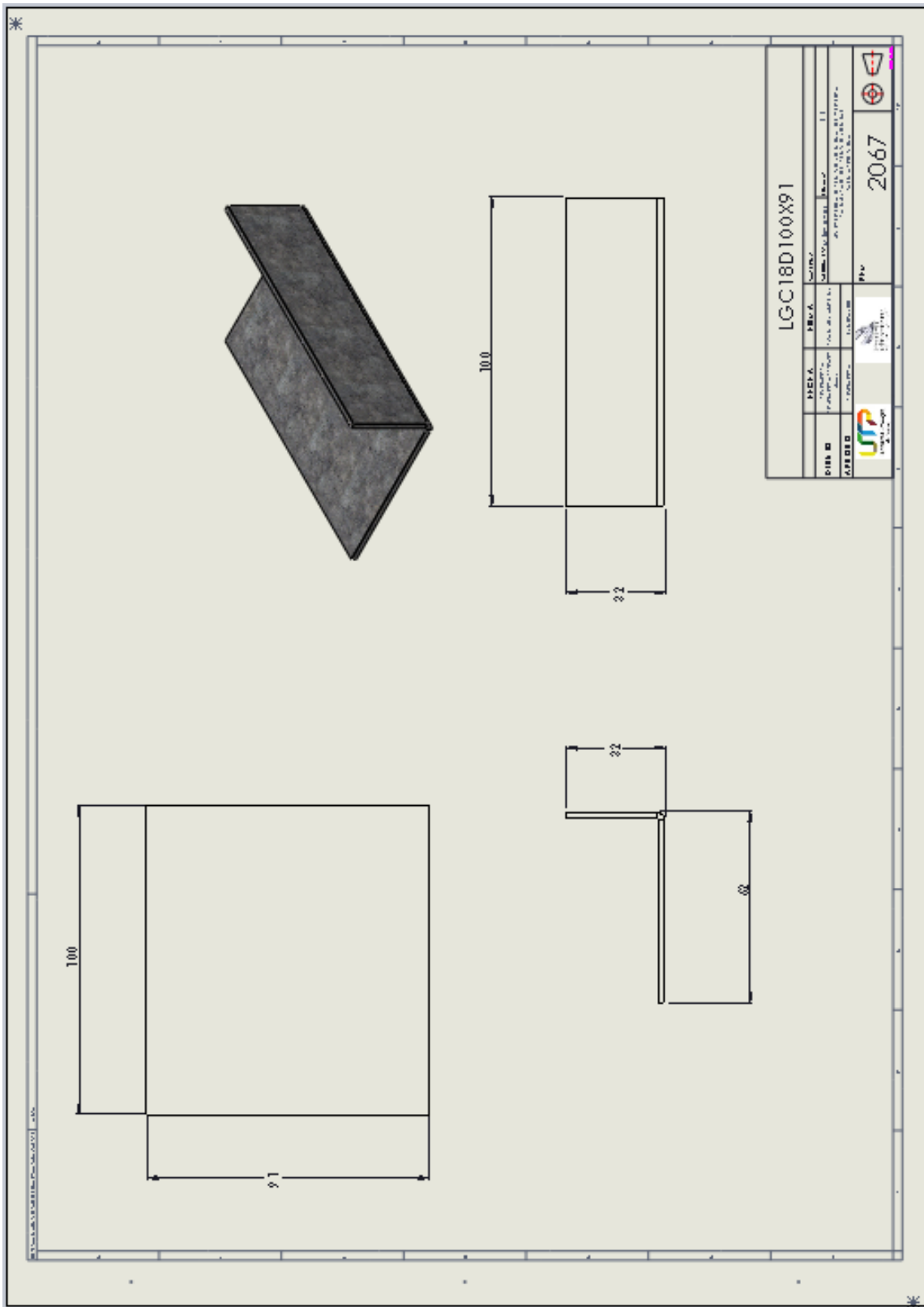
Plano 59: Lamina trasera interfaz.



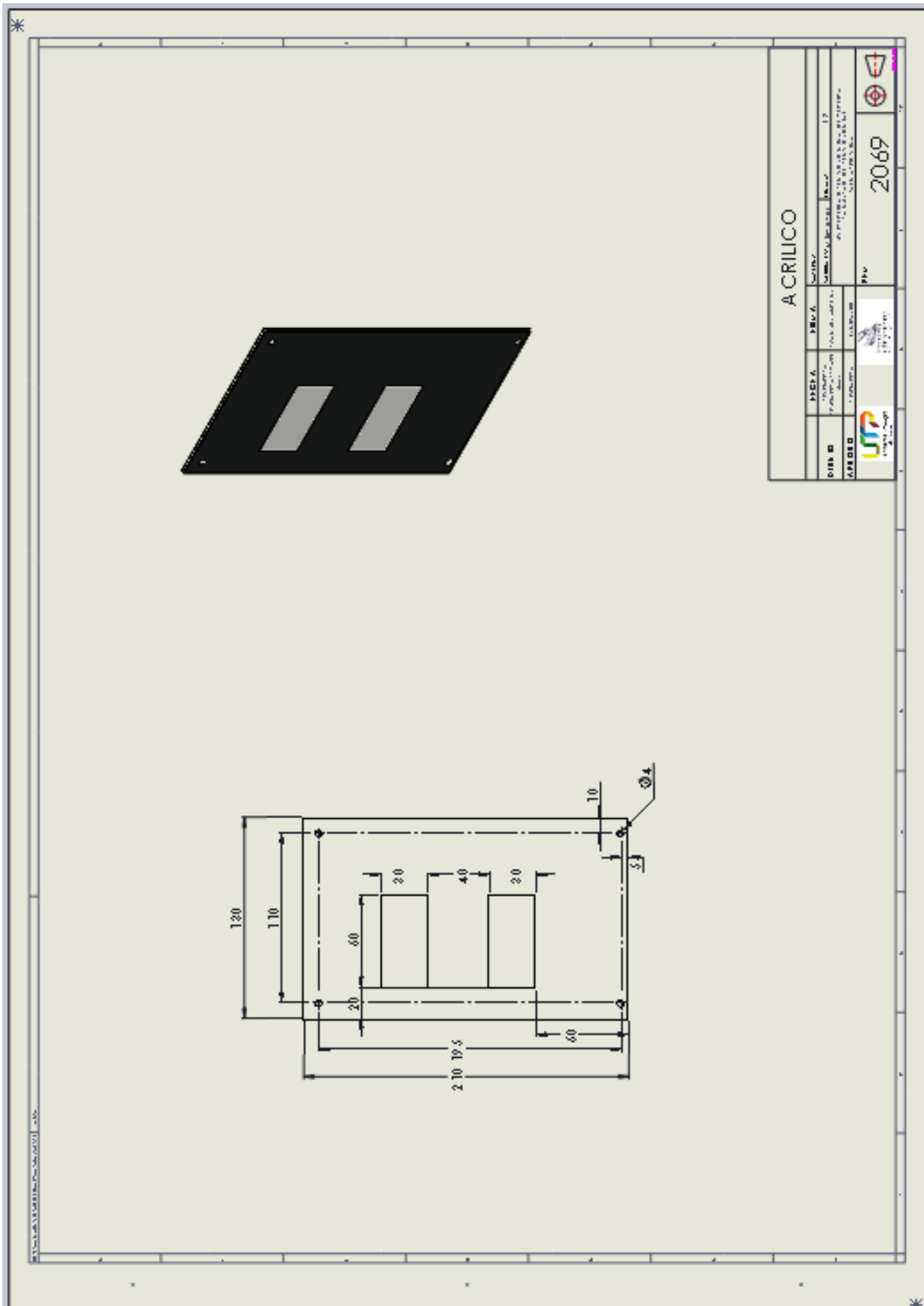
Plano 60: Lamina base acrílico.



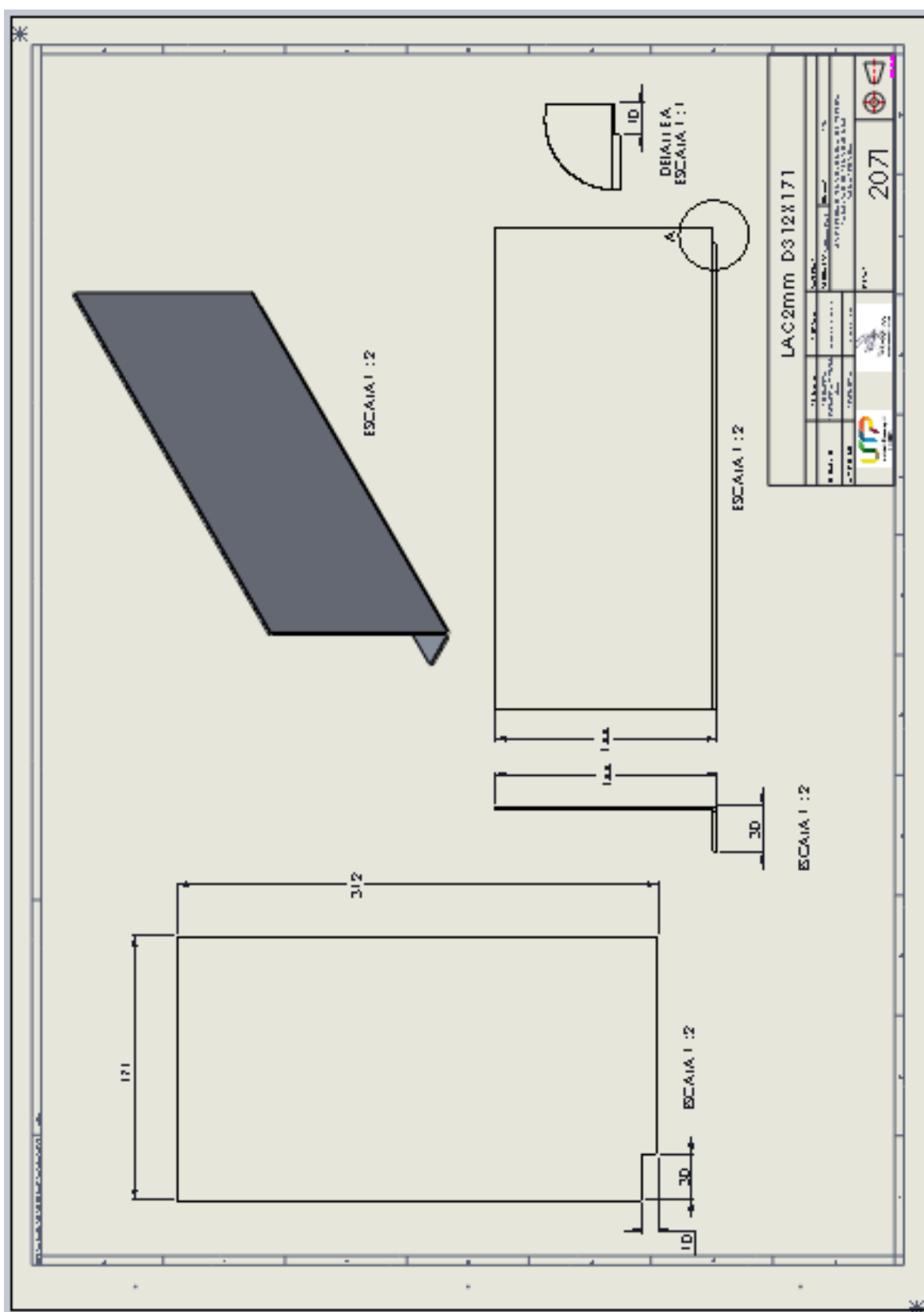
Plano 61: Lamina complemento interfaz.



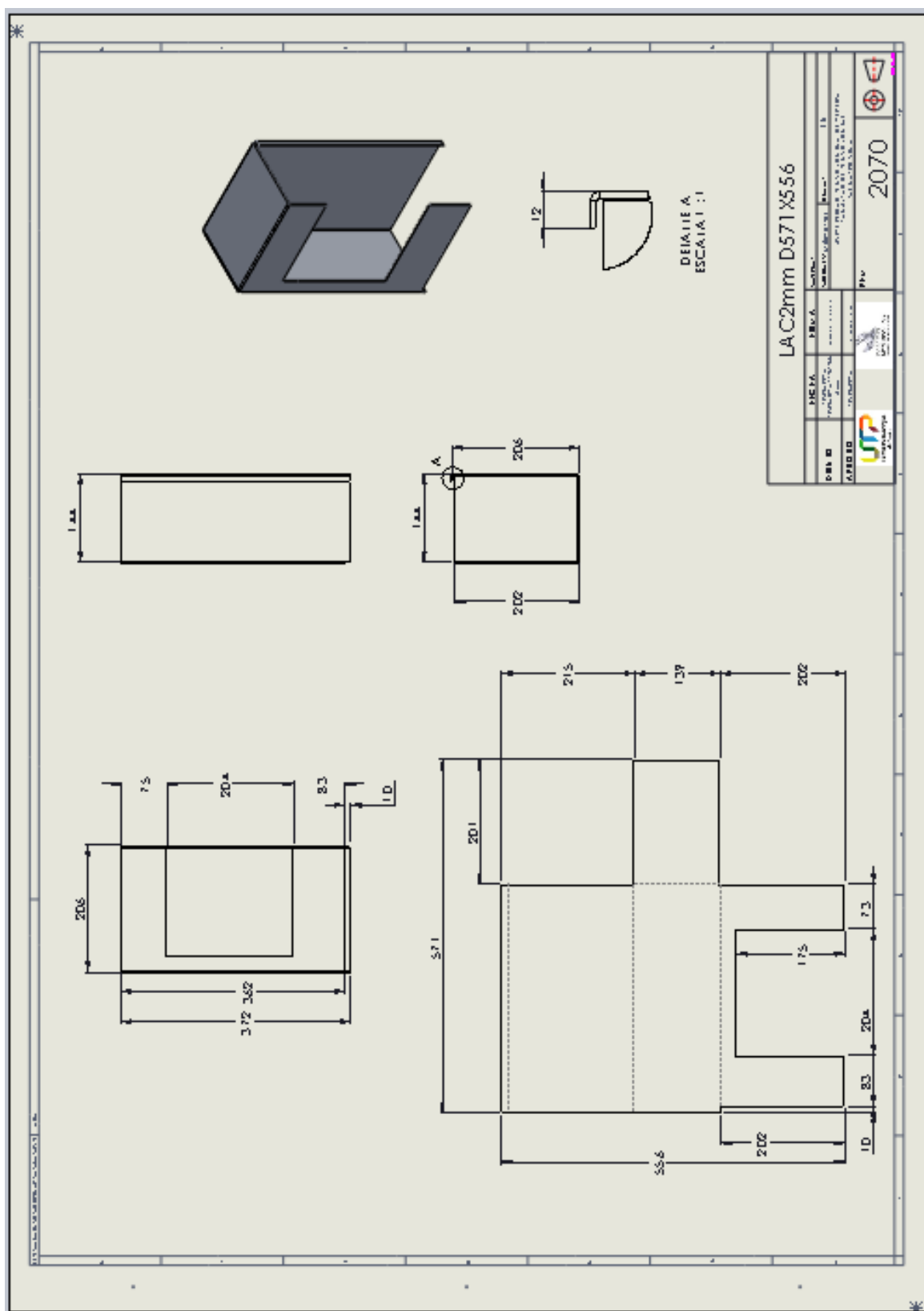
Plano 63: Acrílico interfaz.



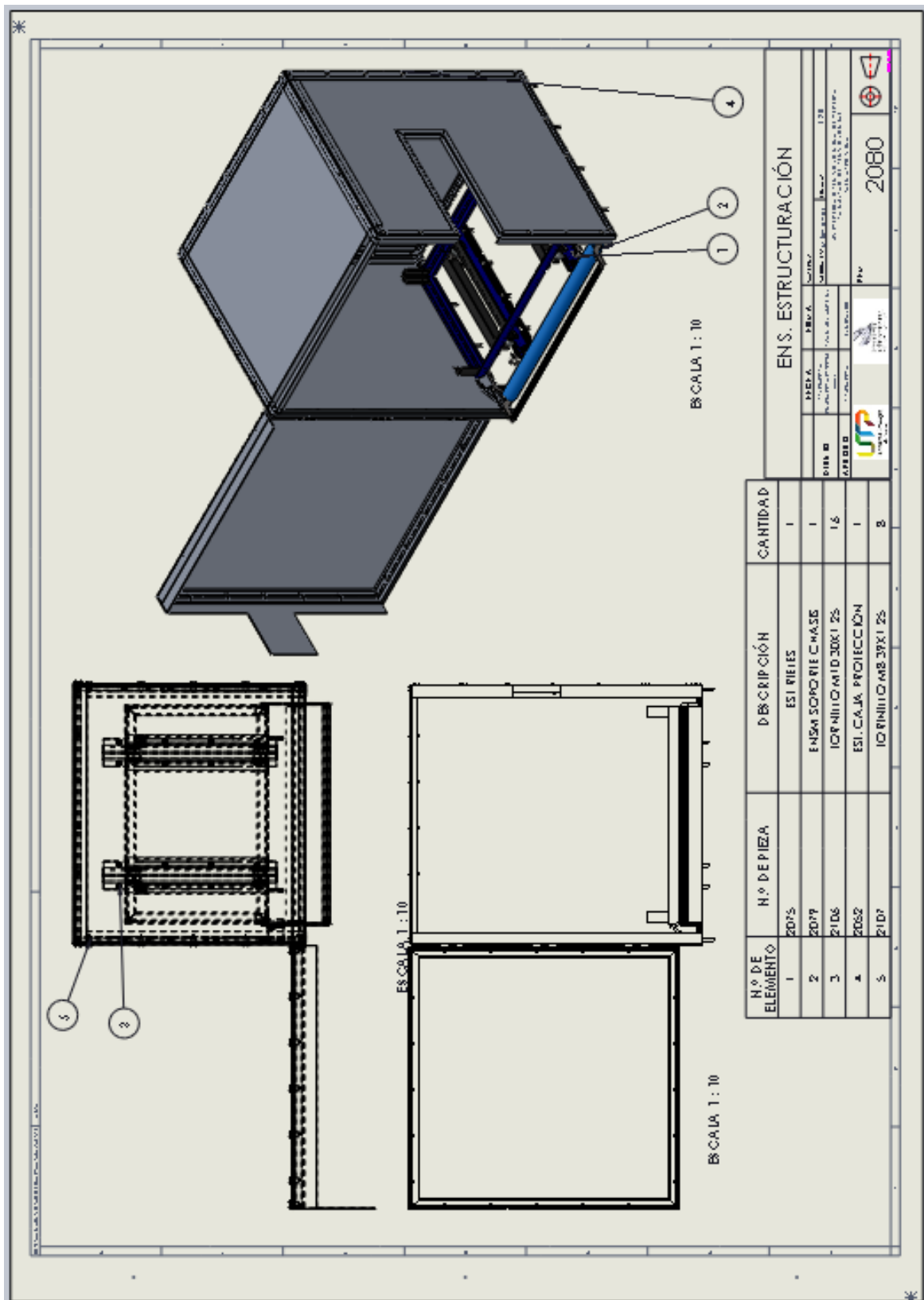
Plano 64: Lamina trasera tapa motor.



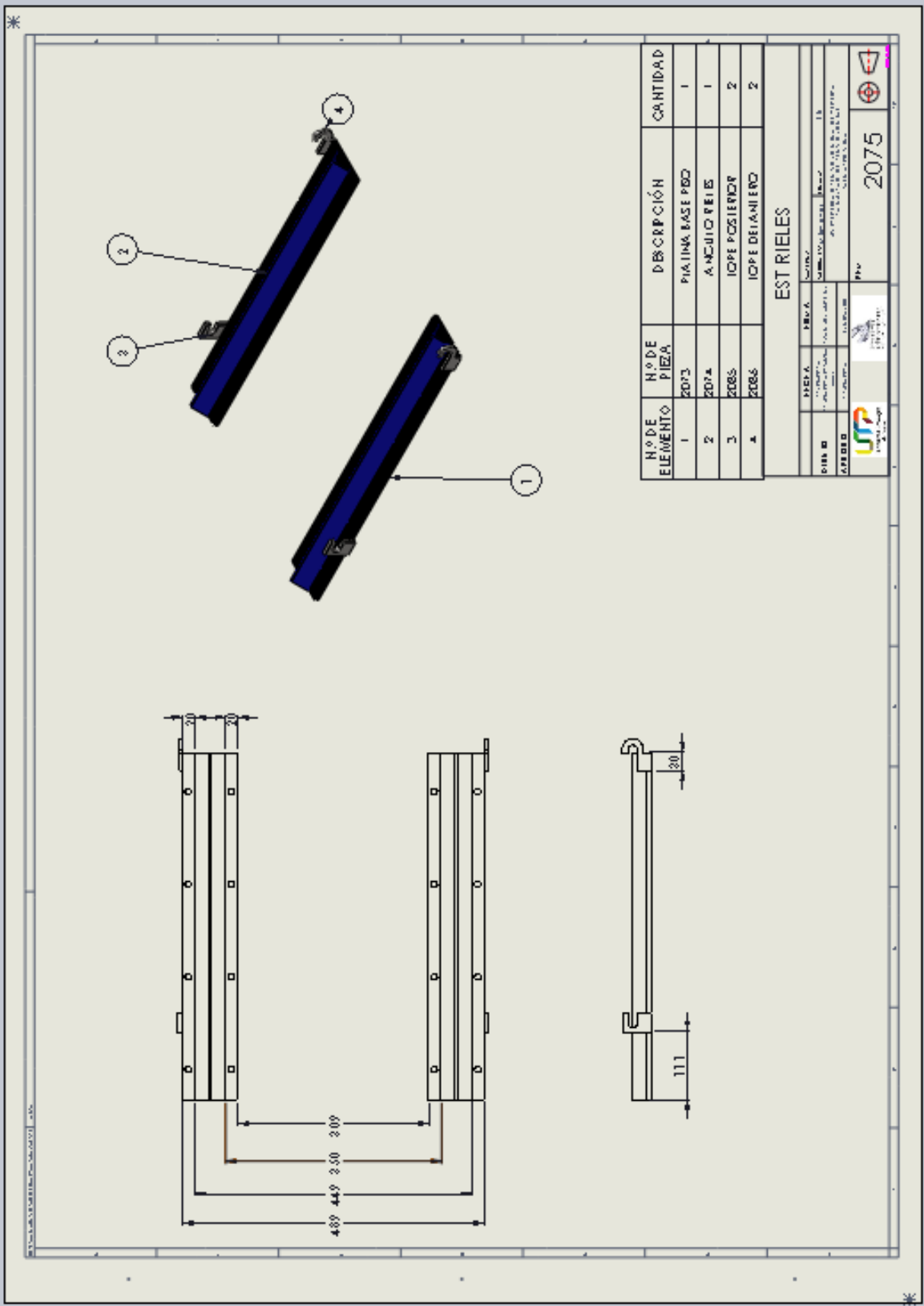
Plano 65: Lamina superior tapa motor.



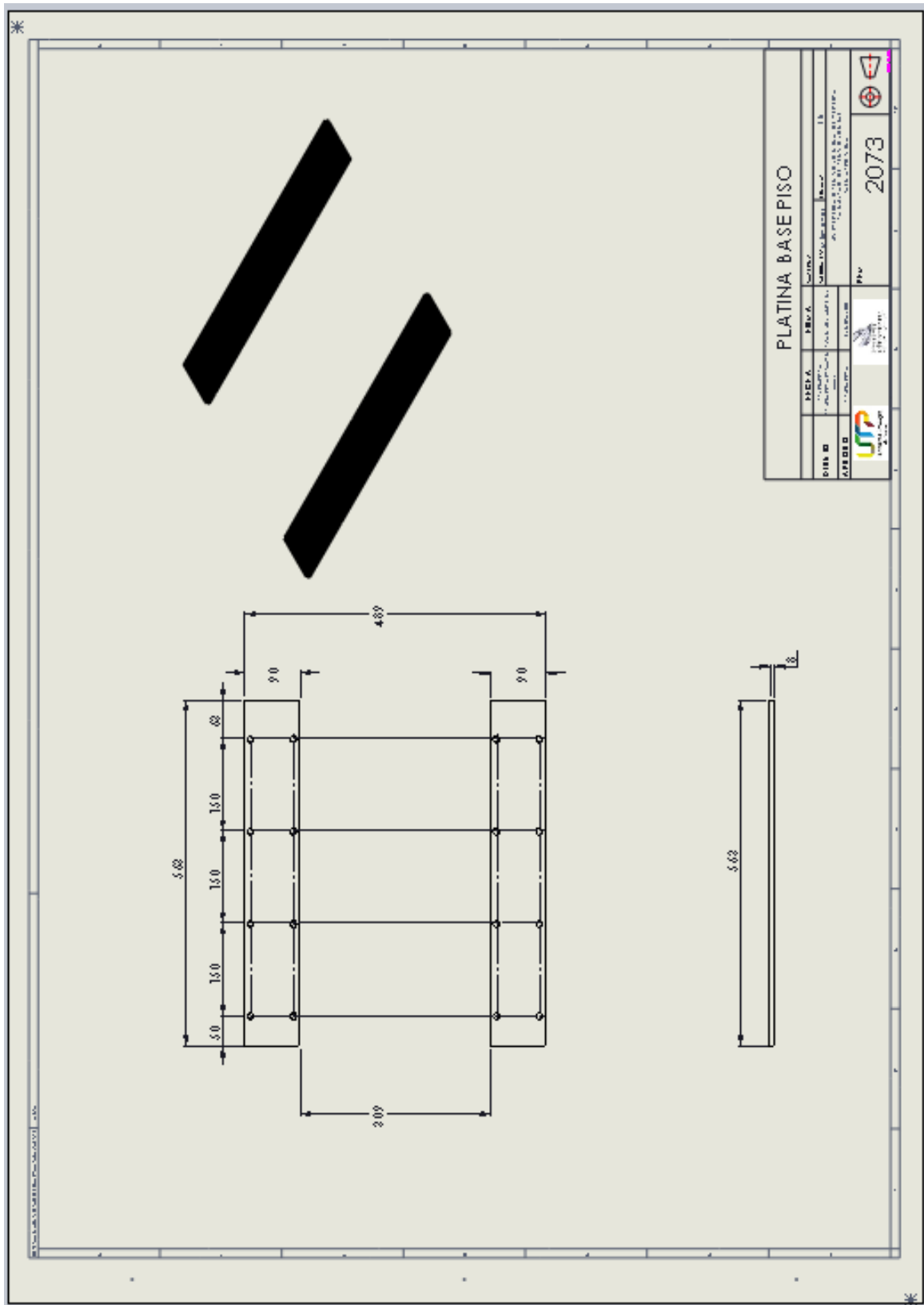
Plano 66: Ensamble estructuración externa.



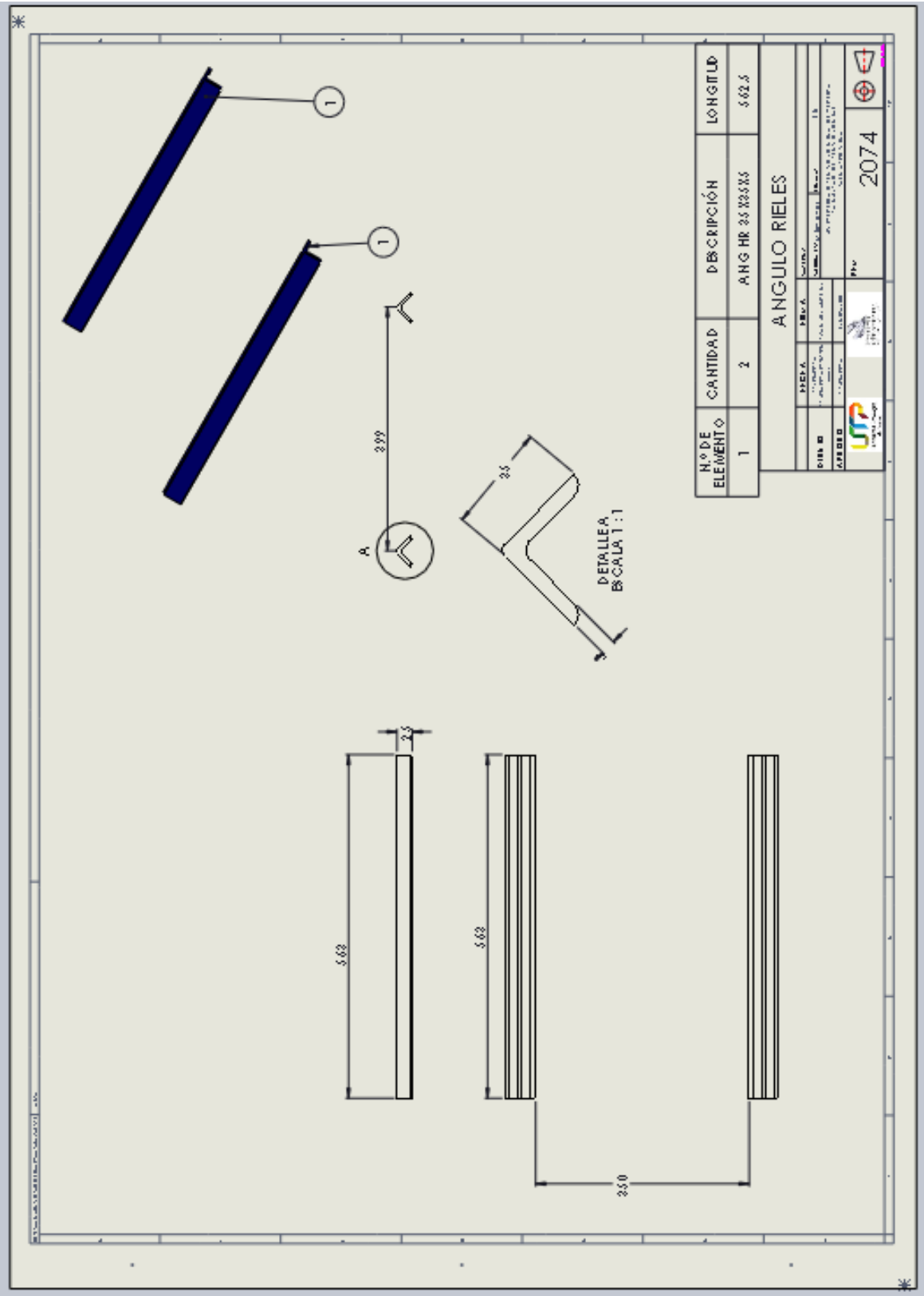
Plano 67: Estructura rieles.



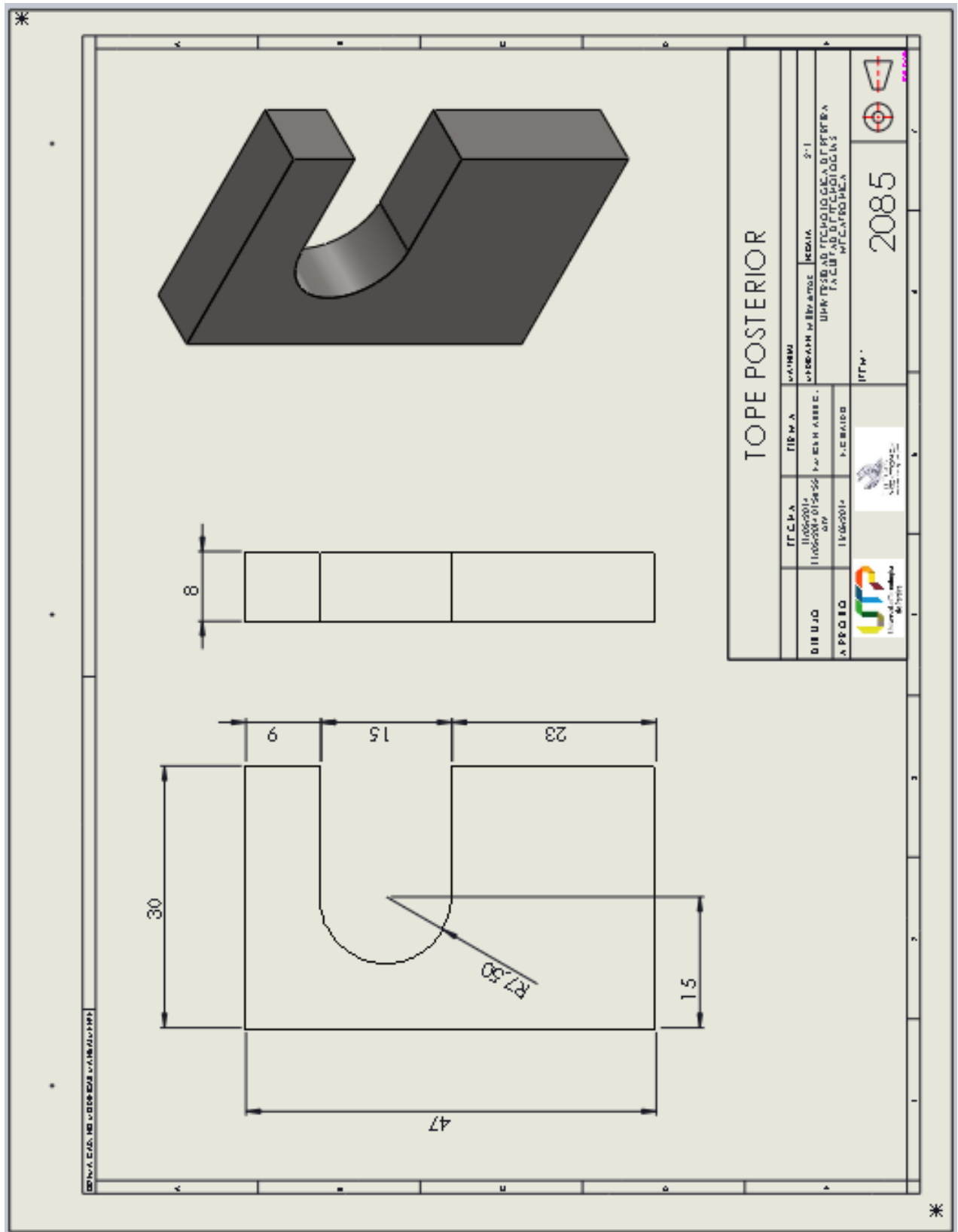
Plano 68: Platina base piso.



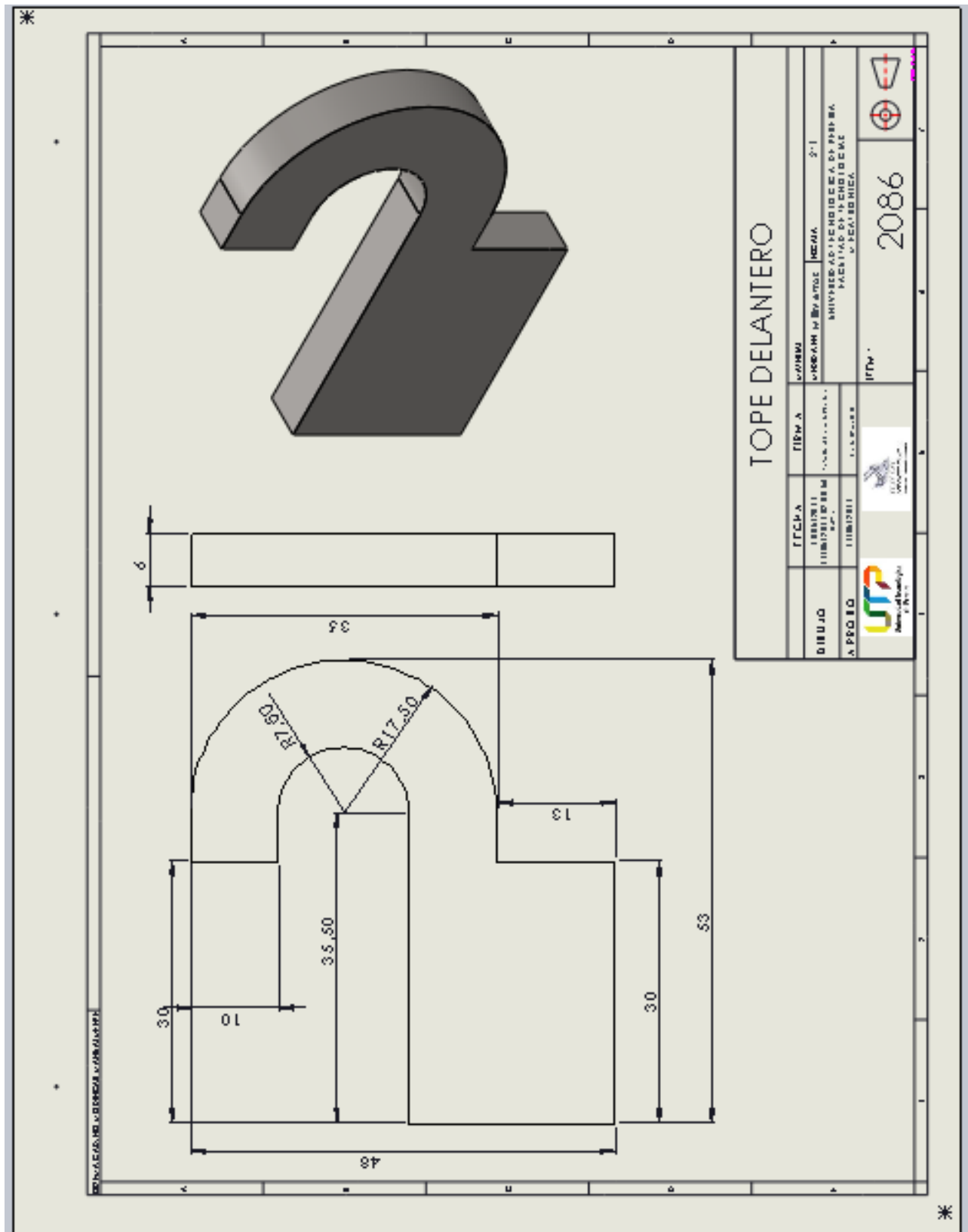
Plano 69: Angulo rieles.



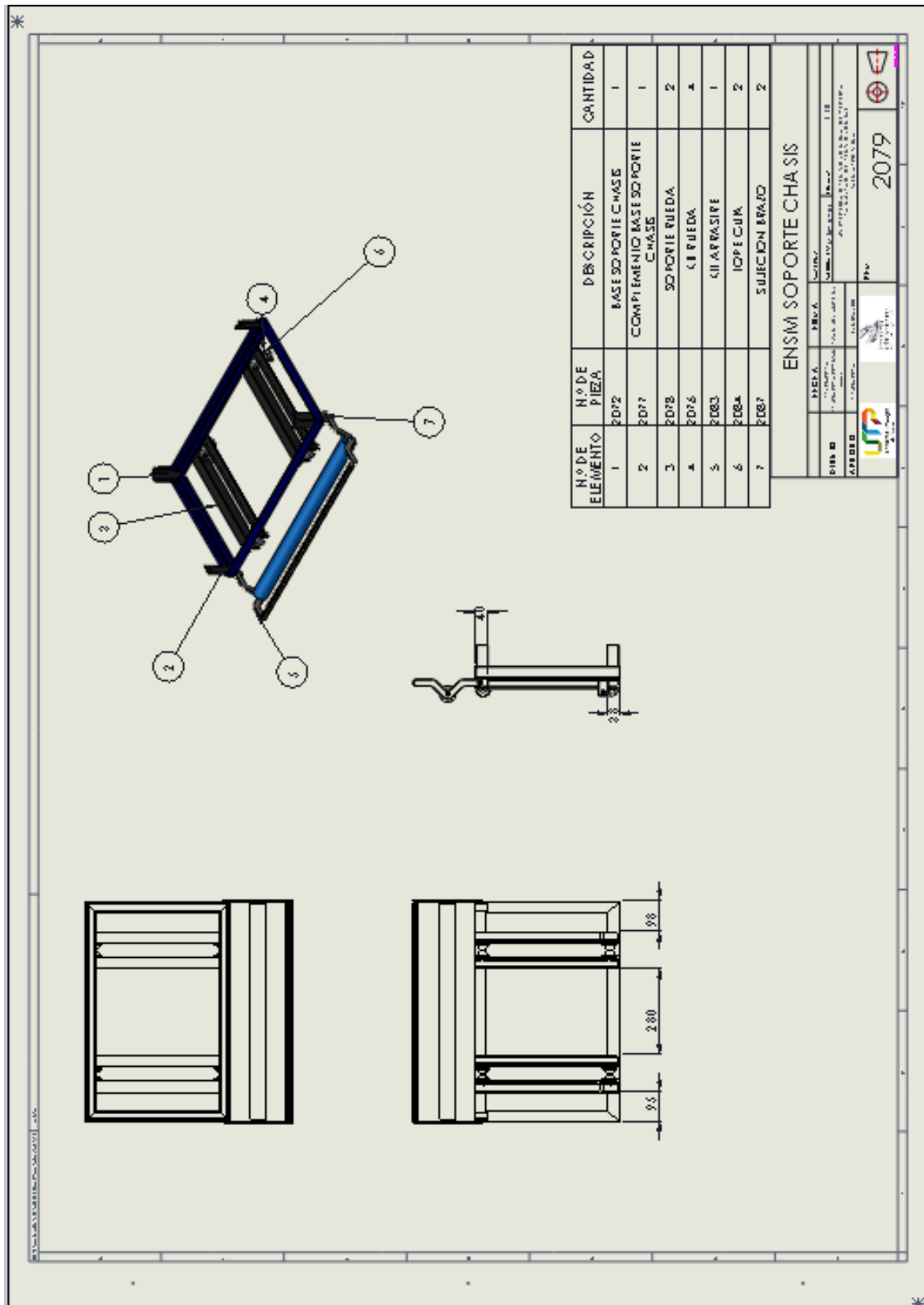
Plano 70: Tope rieles posterior.



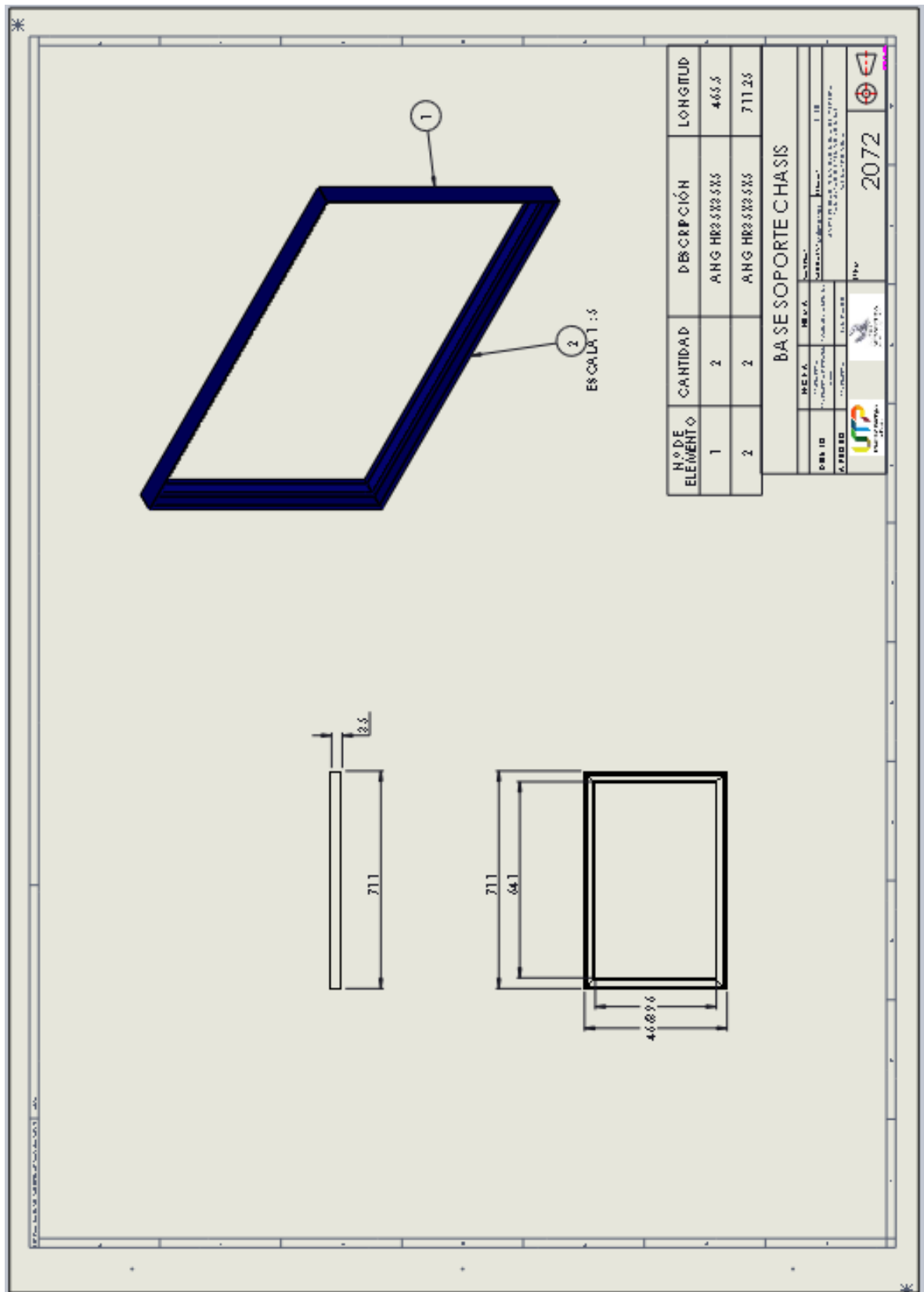
Plano 71: Tope rieles delanteros.



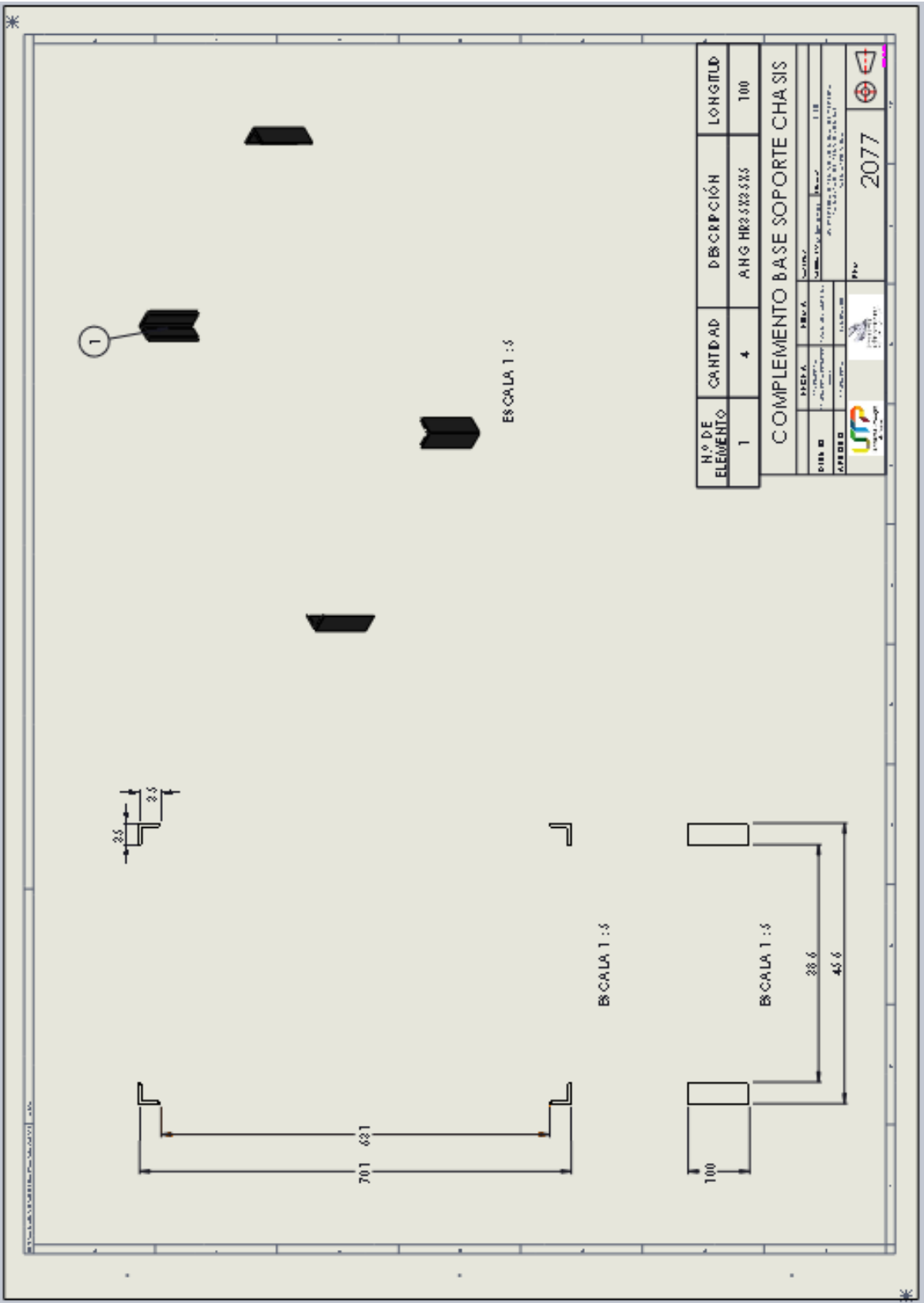
Plano 72: Ensamble soporte chasis.



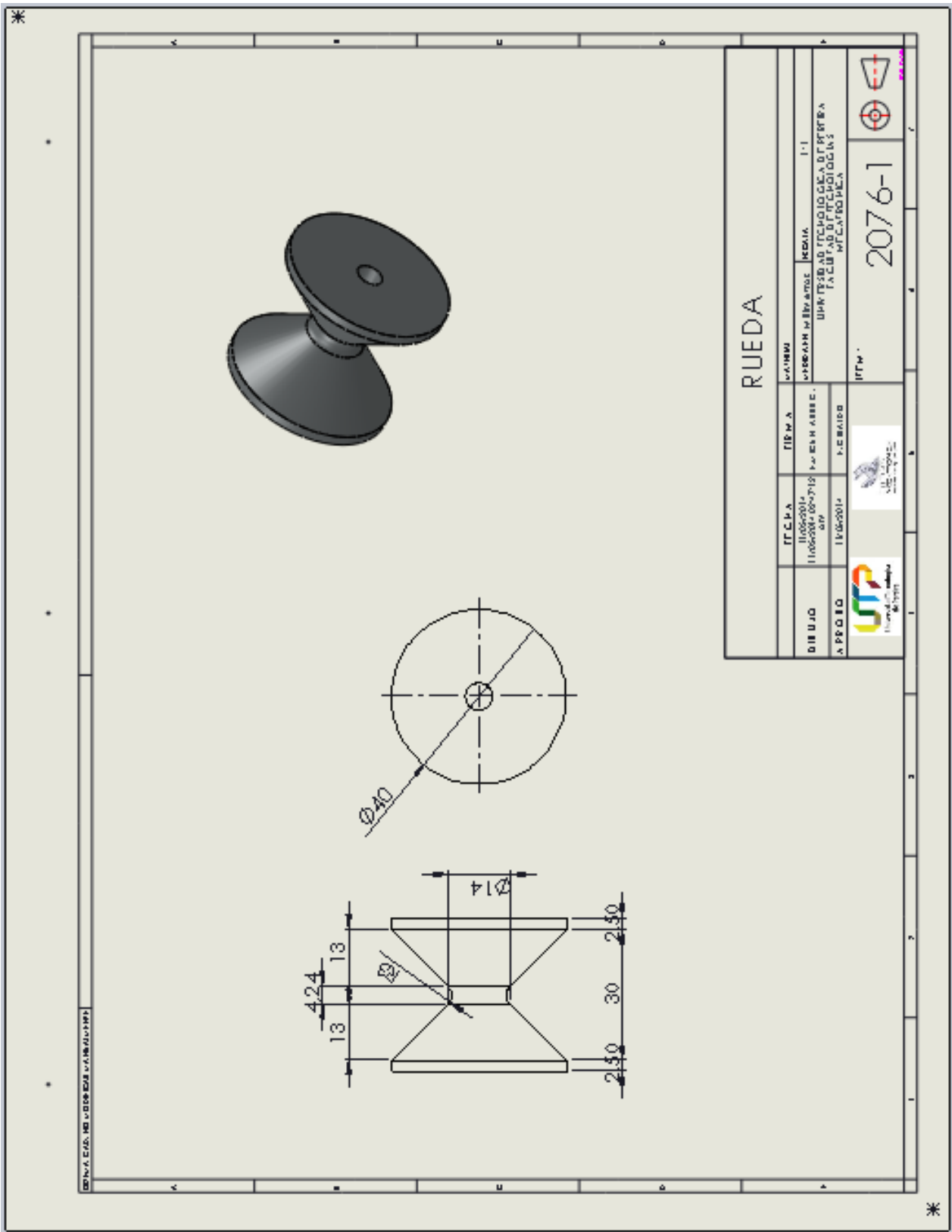
Plano 73: Base soporte chasis.



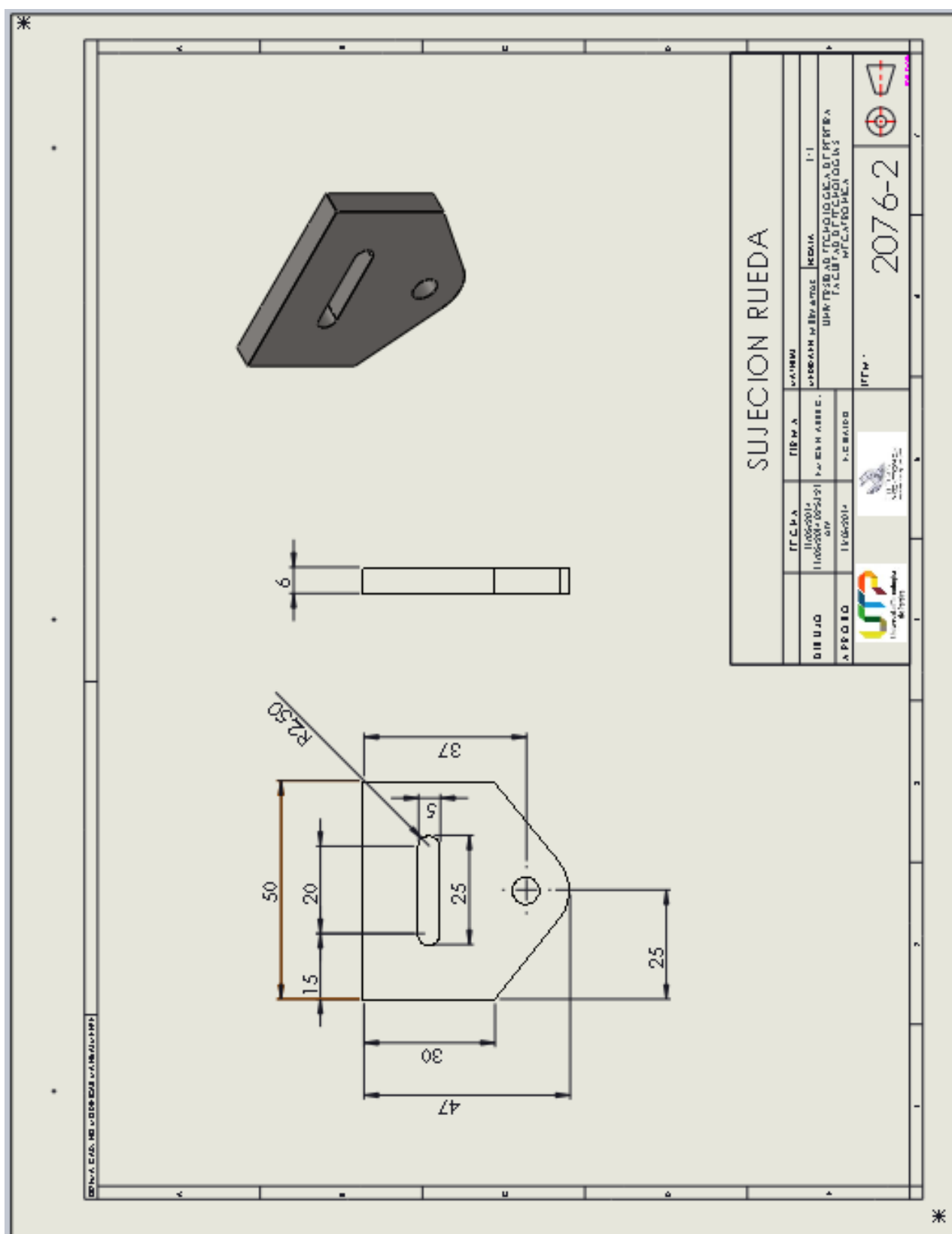
Plano 74: Complemento base soporte chasis.



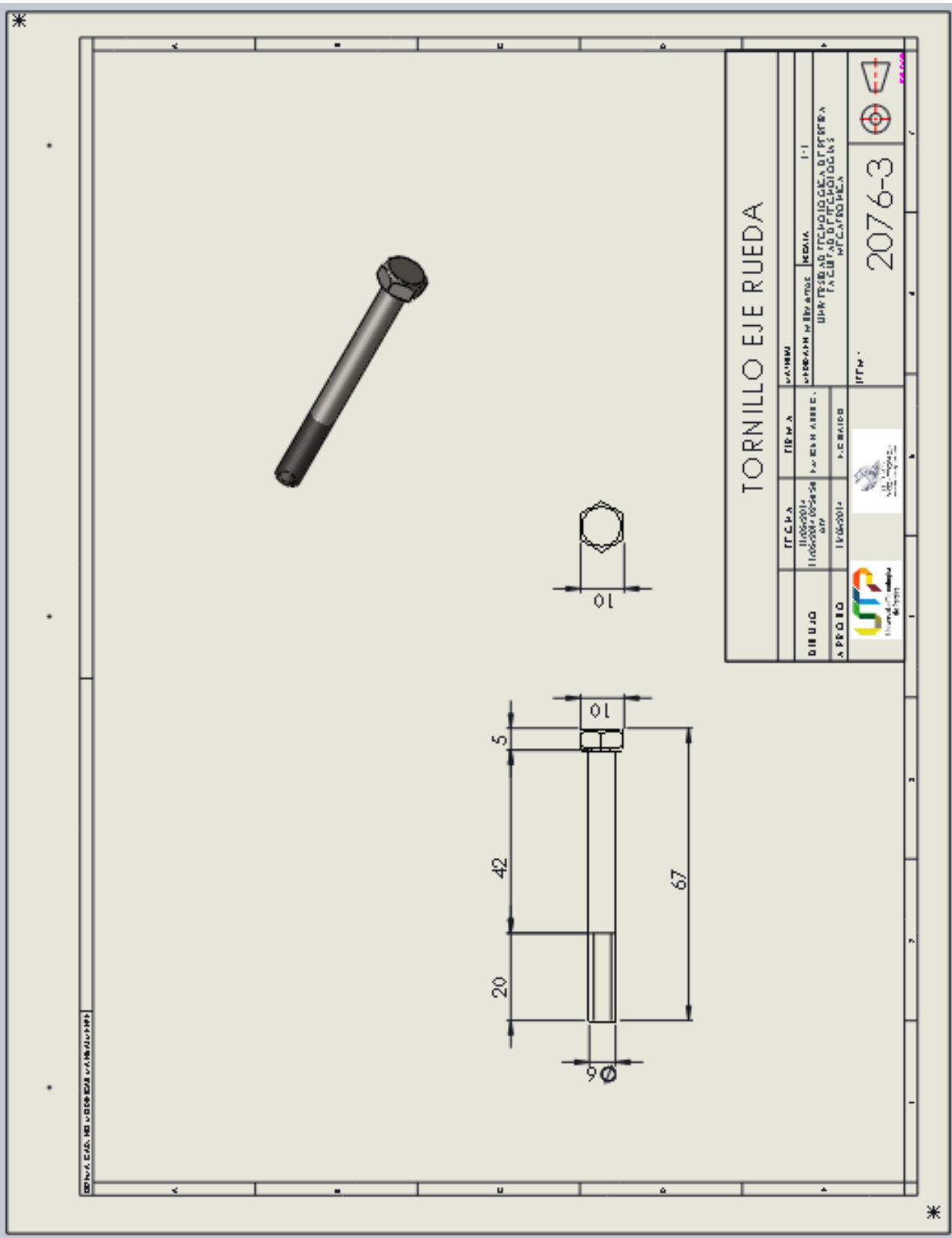
Plano 77: Rueda.



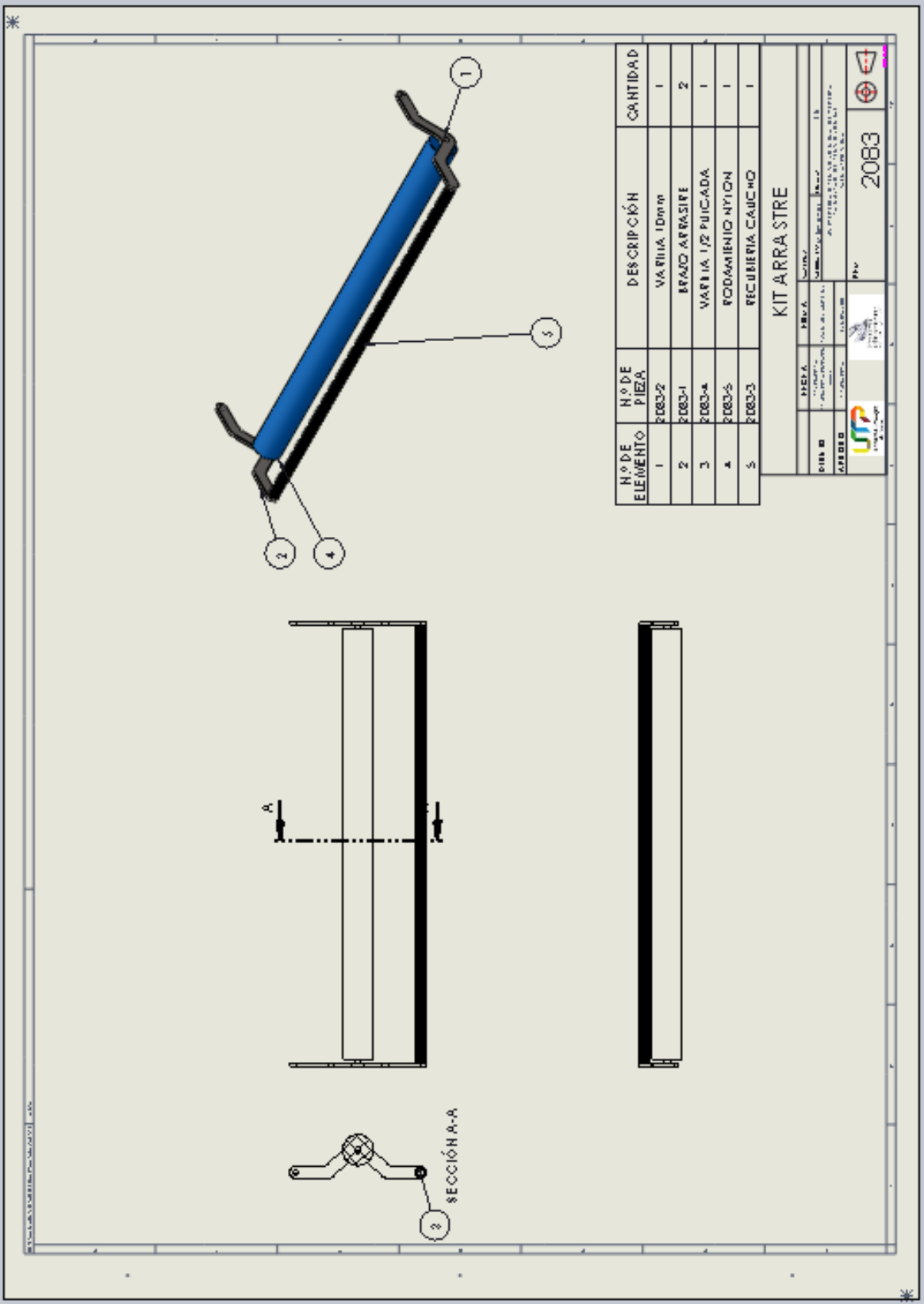
Plano 78: Sujeción rueda.



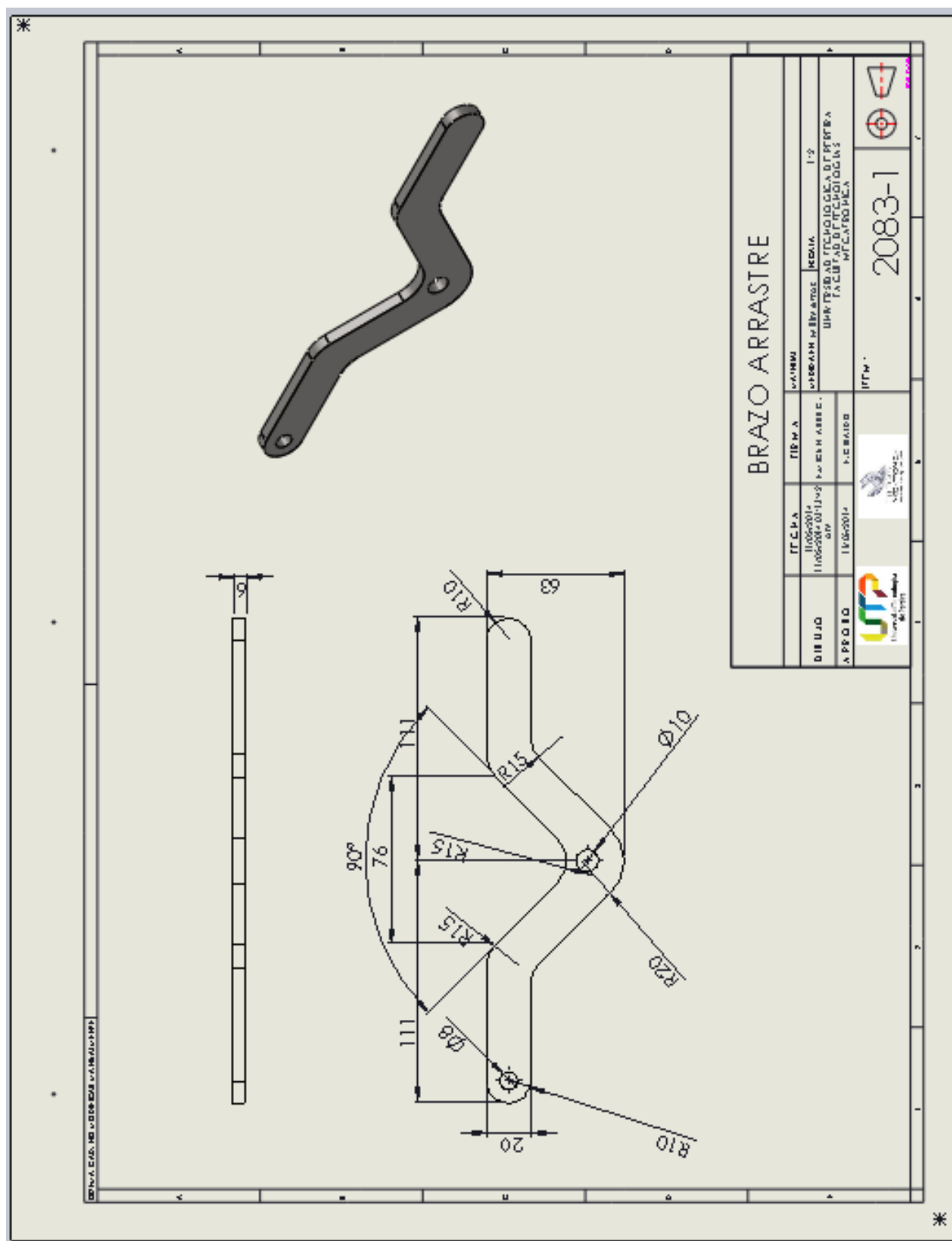
Plano 79: Tornillo eje rueda.



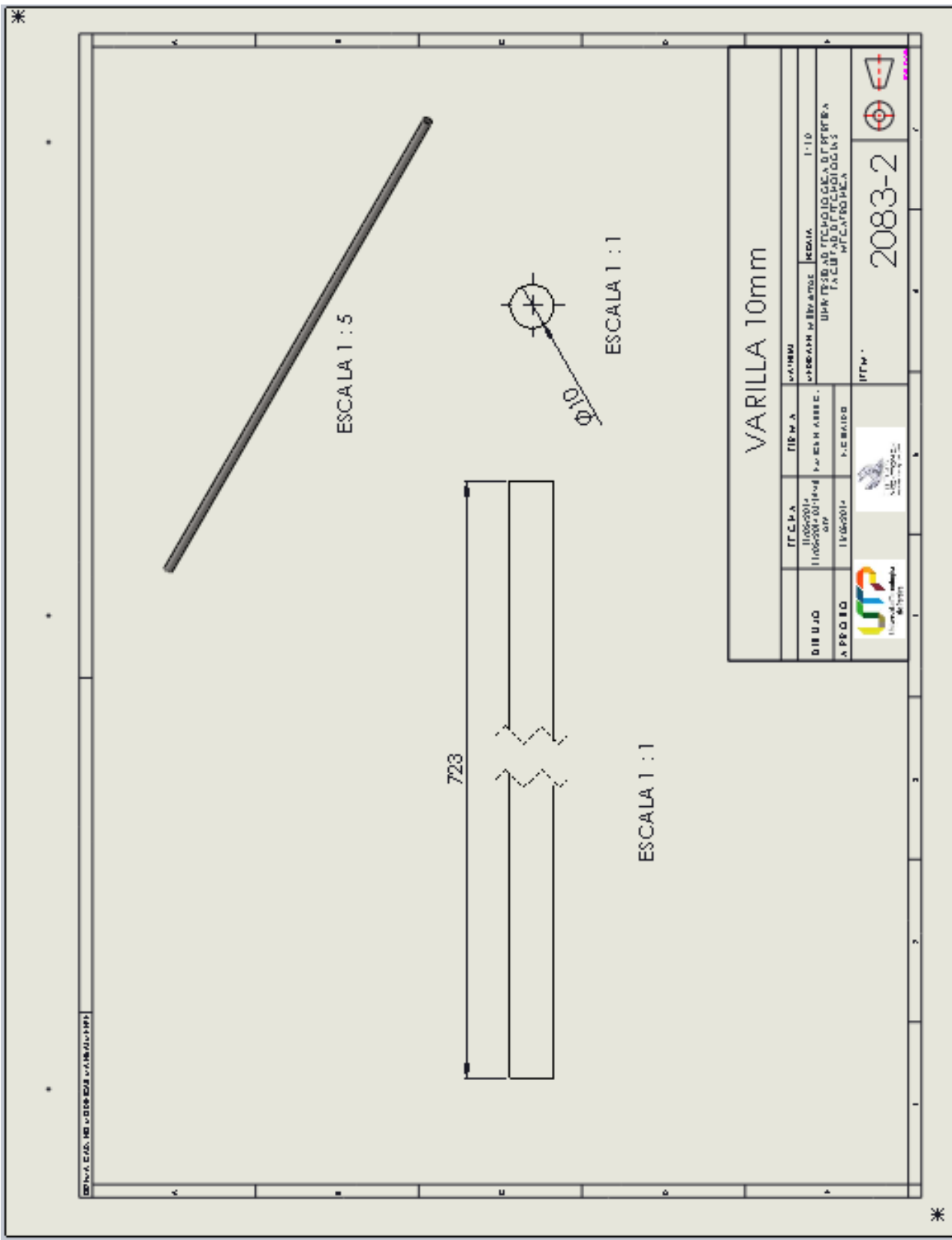
Plano 82: Kit arrastre.



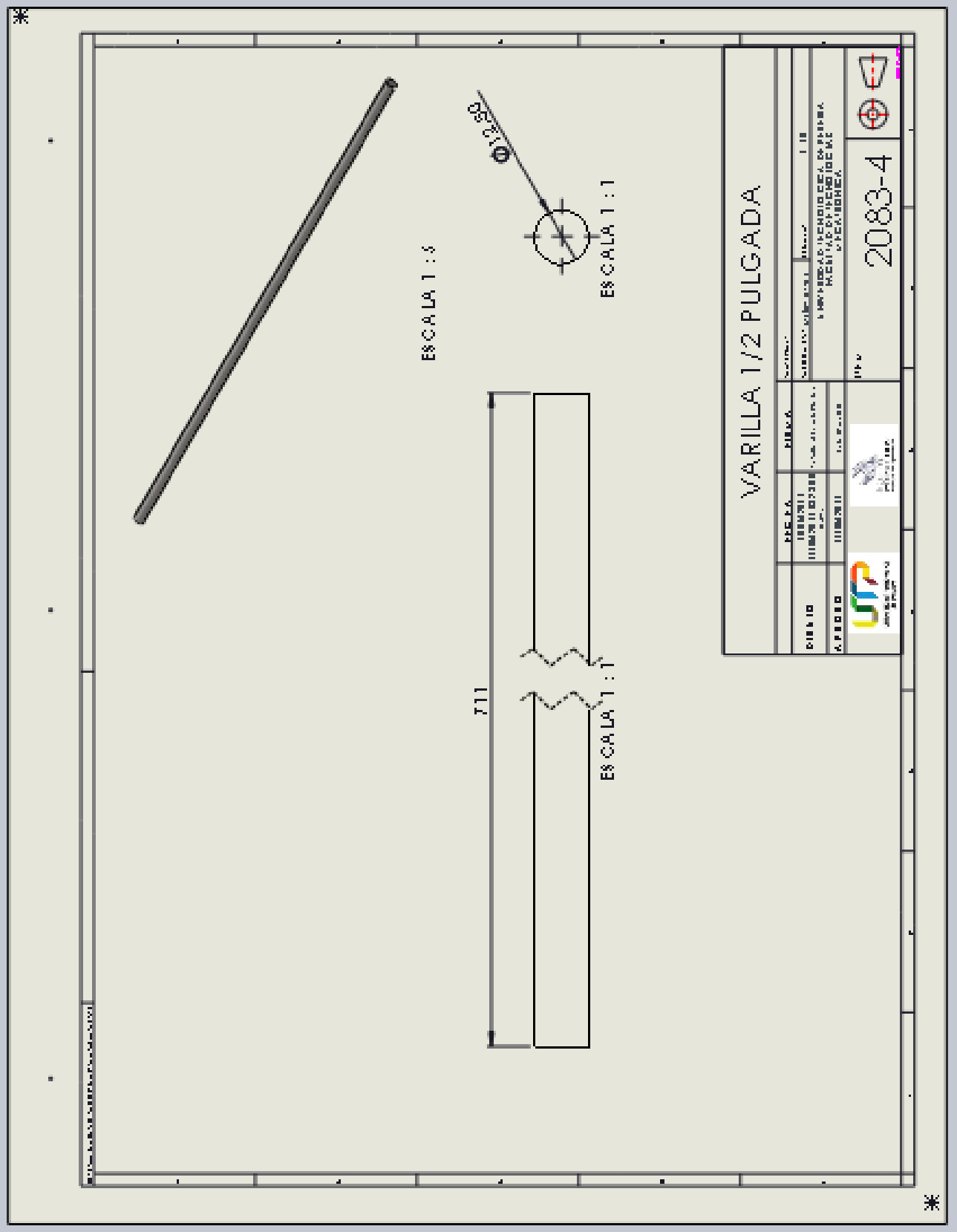
Plano 83: Braço kit arrastre.



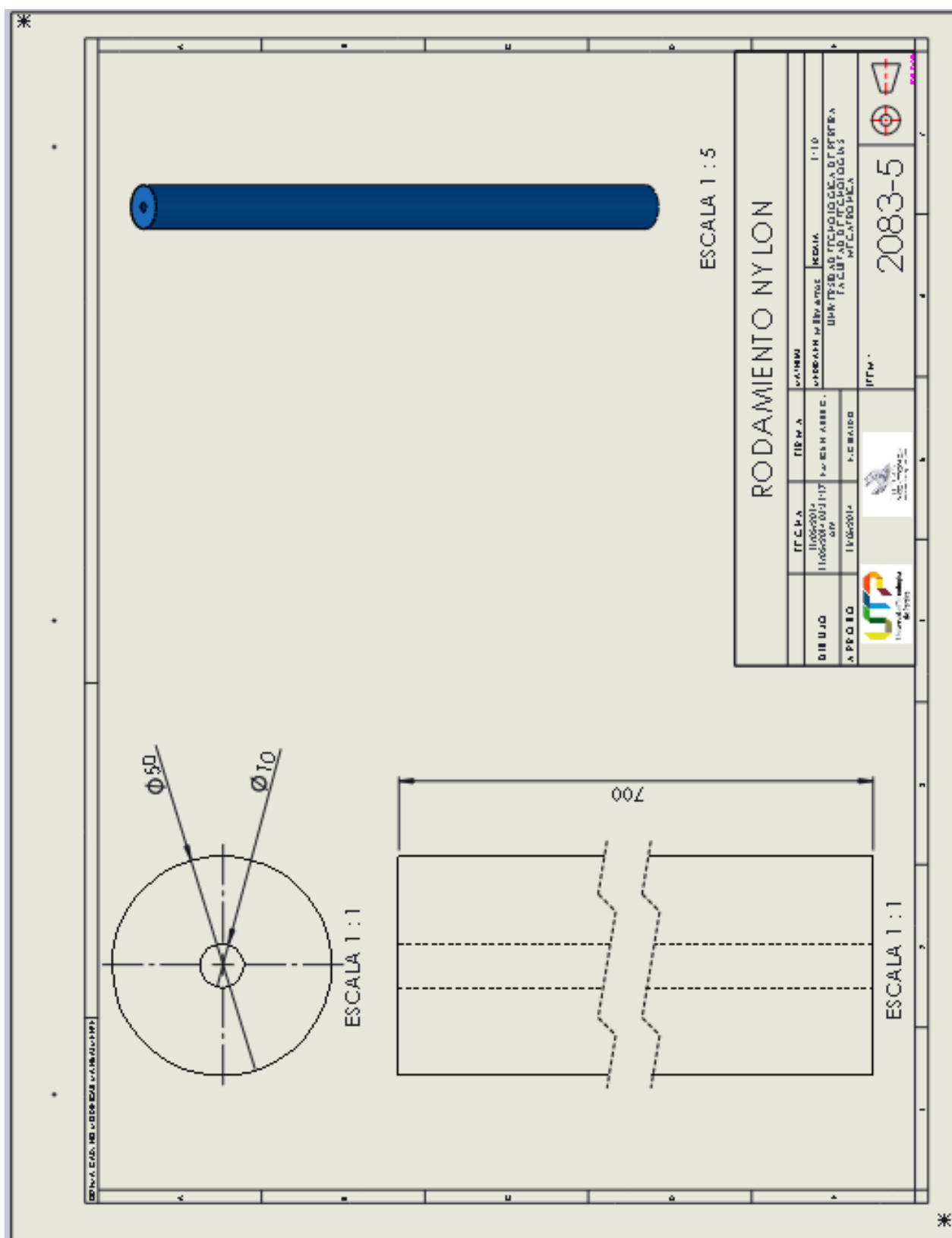
Plano 84: Varilla 10mm kit arrastre.



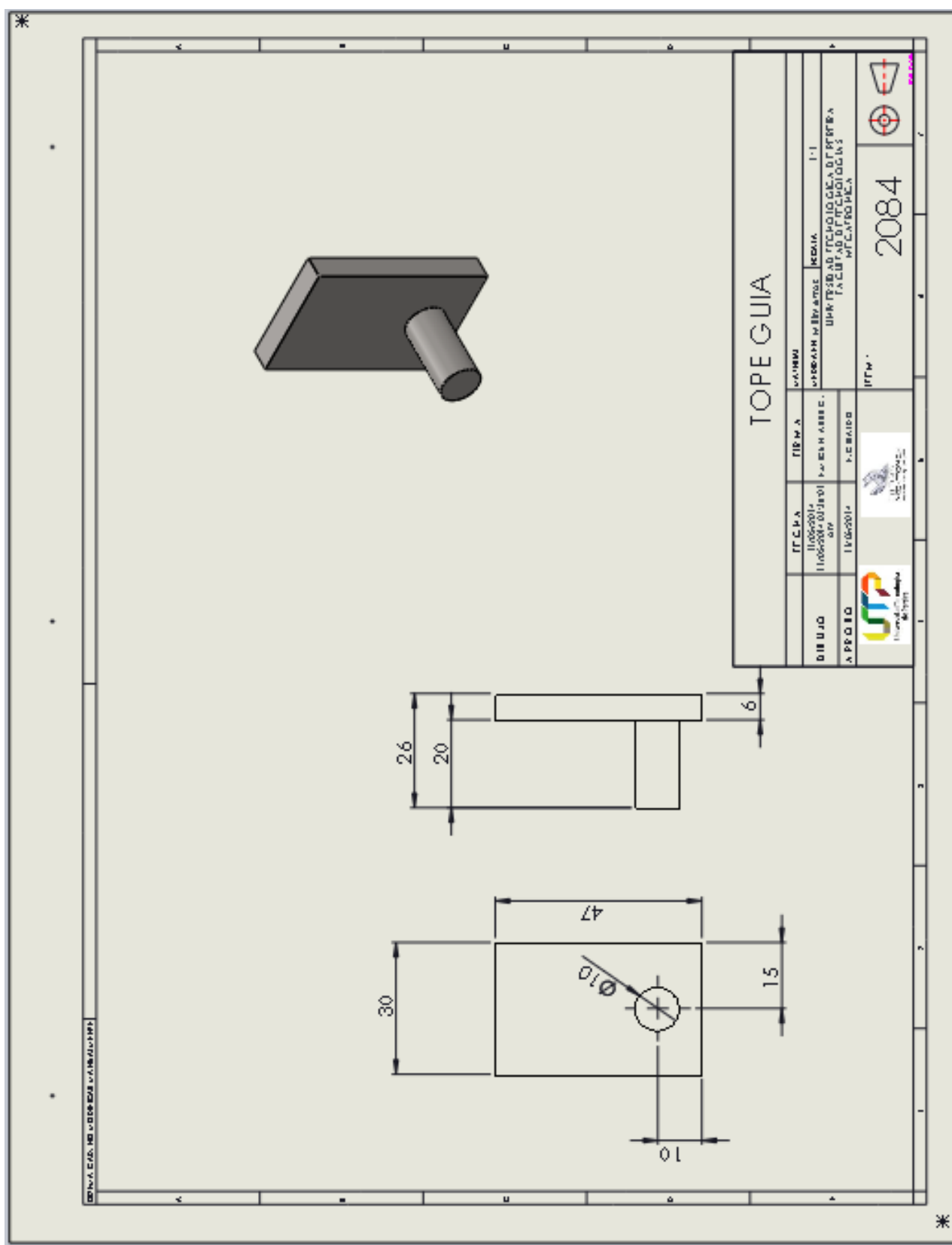
Plano 86: Varilla 12.5mm kit arrastre.



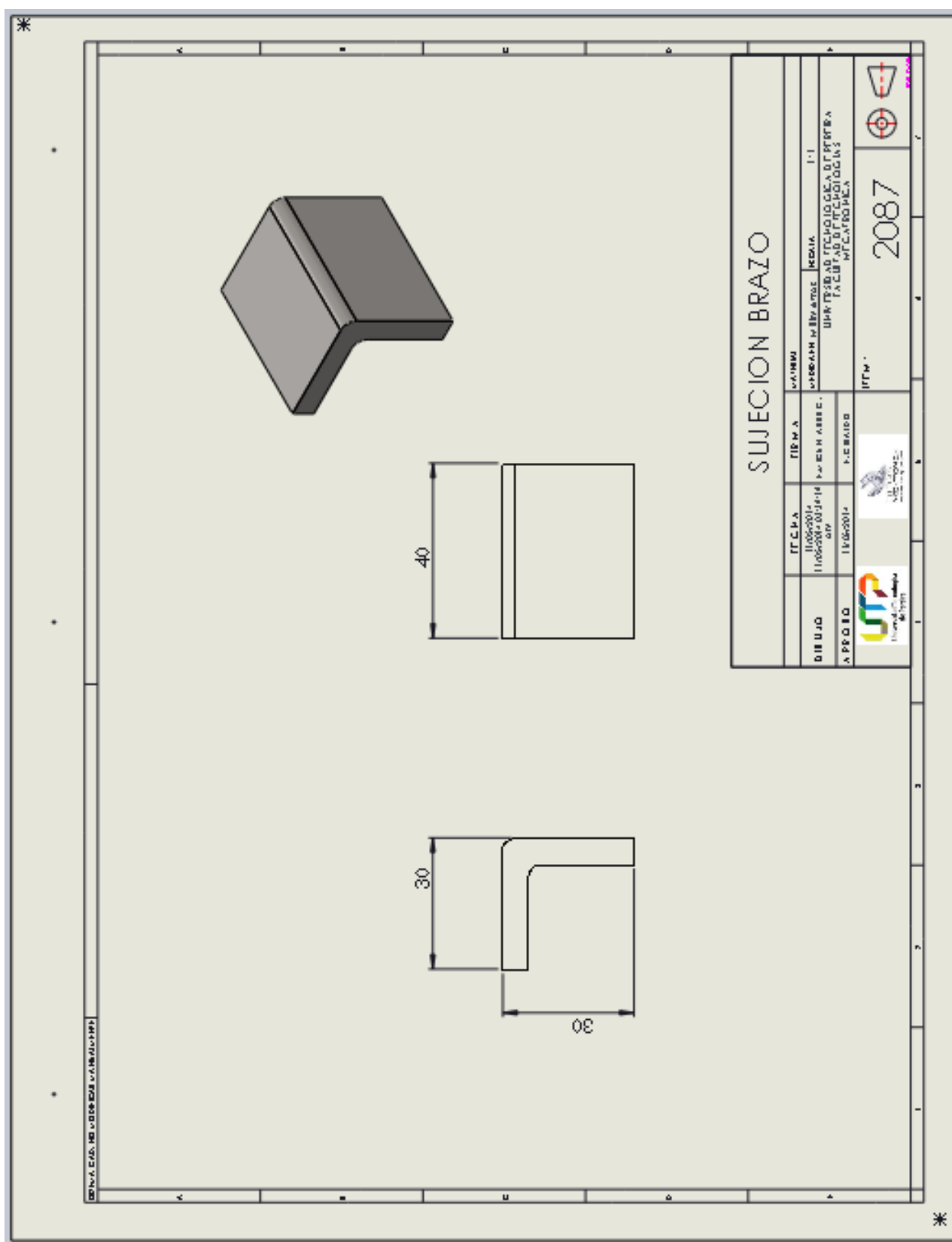
Plano 87: Rodamiento Nylon kit arrastre.



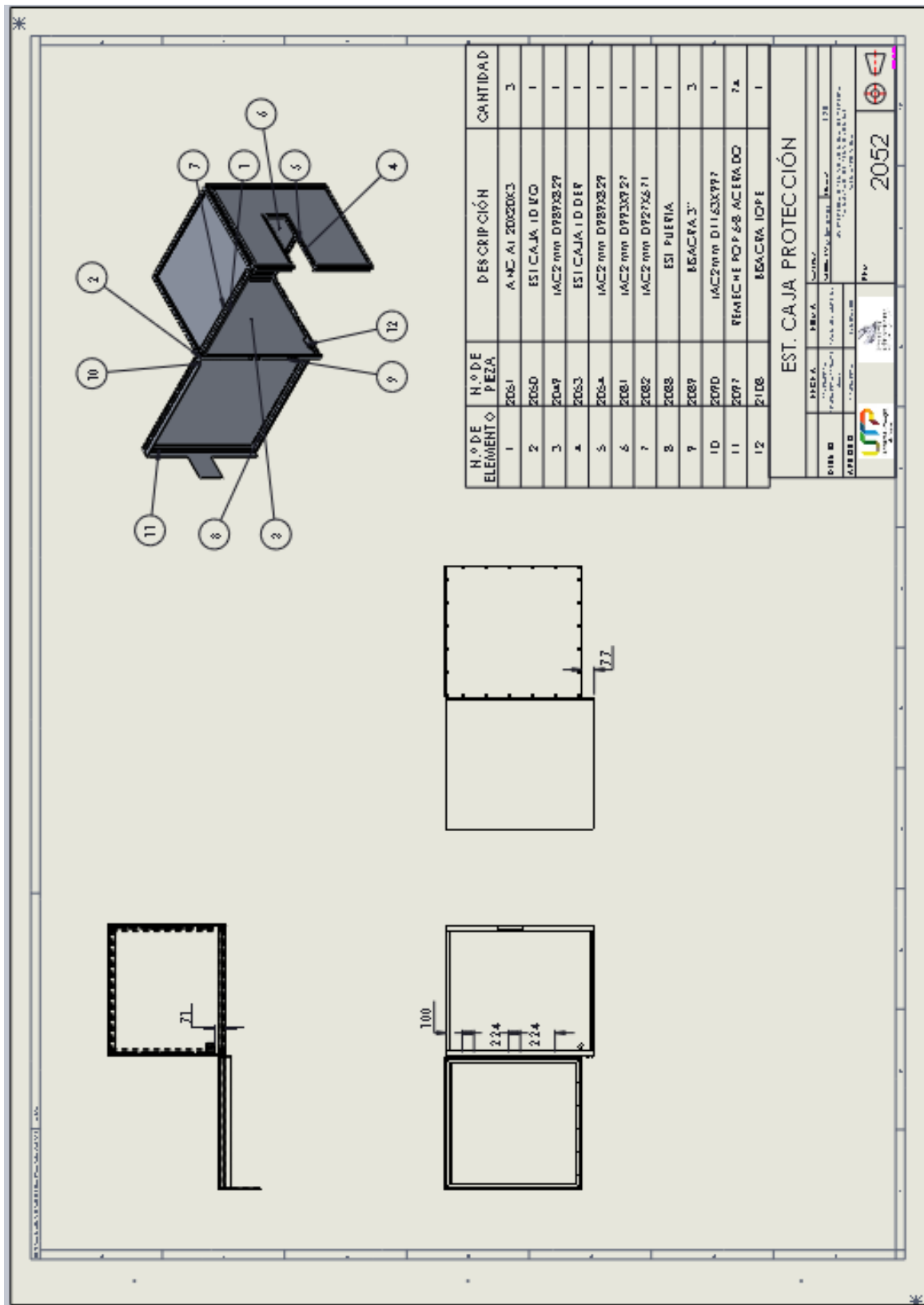
Plano 88: Tope guía.



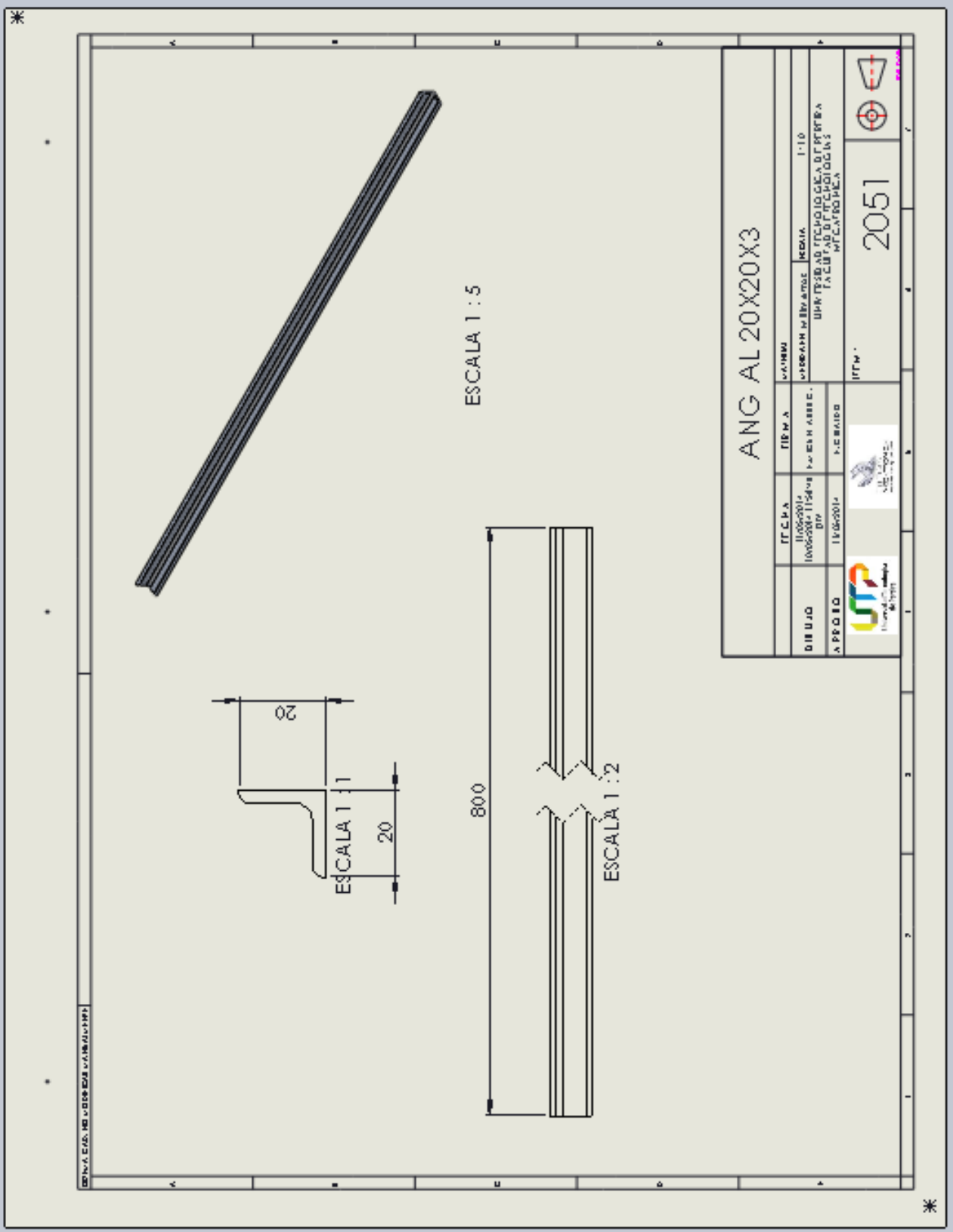
Plano 89: Sujeción brazo.



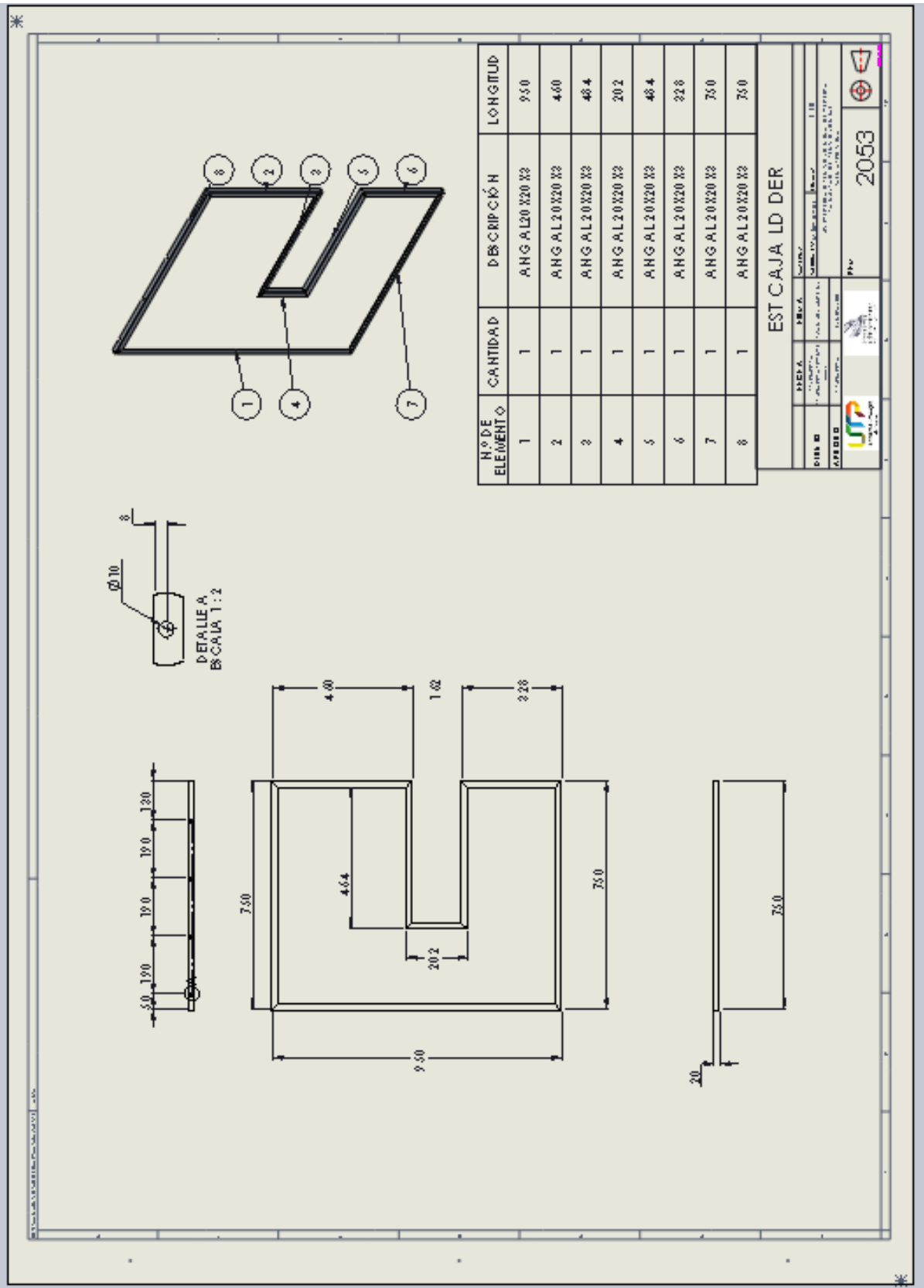
Plano 90: Ensamble caja protección.



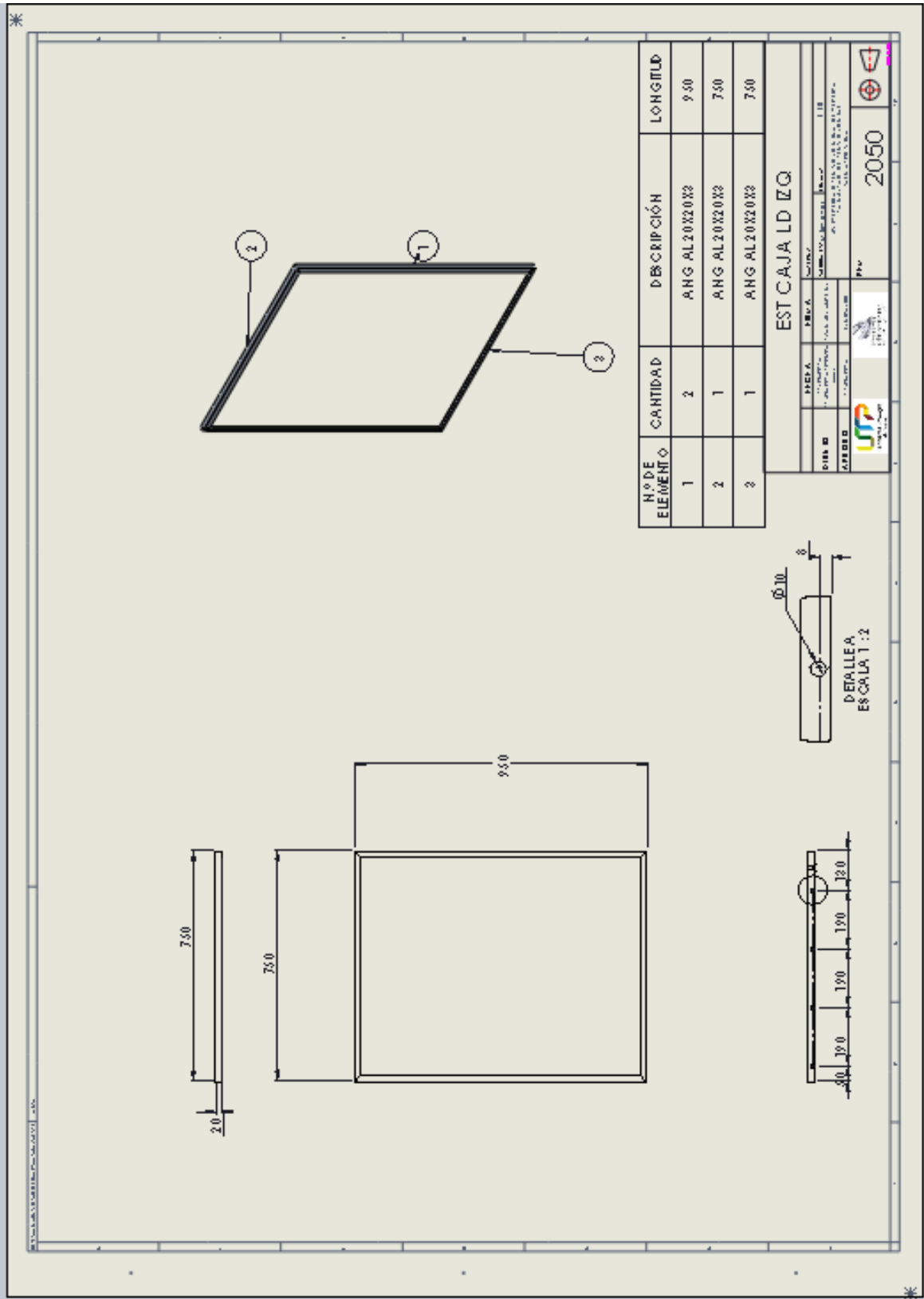
Plano 91: Elemento estructural caja protección.



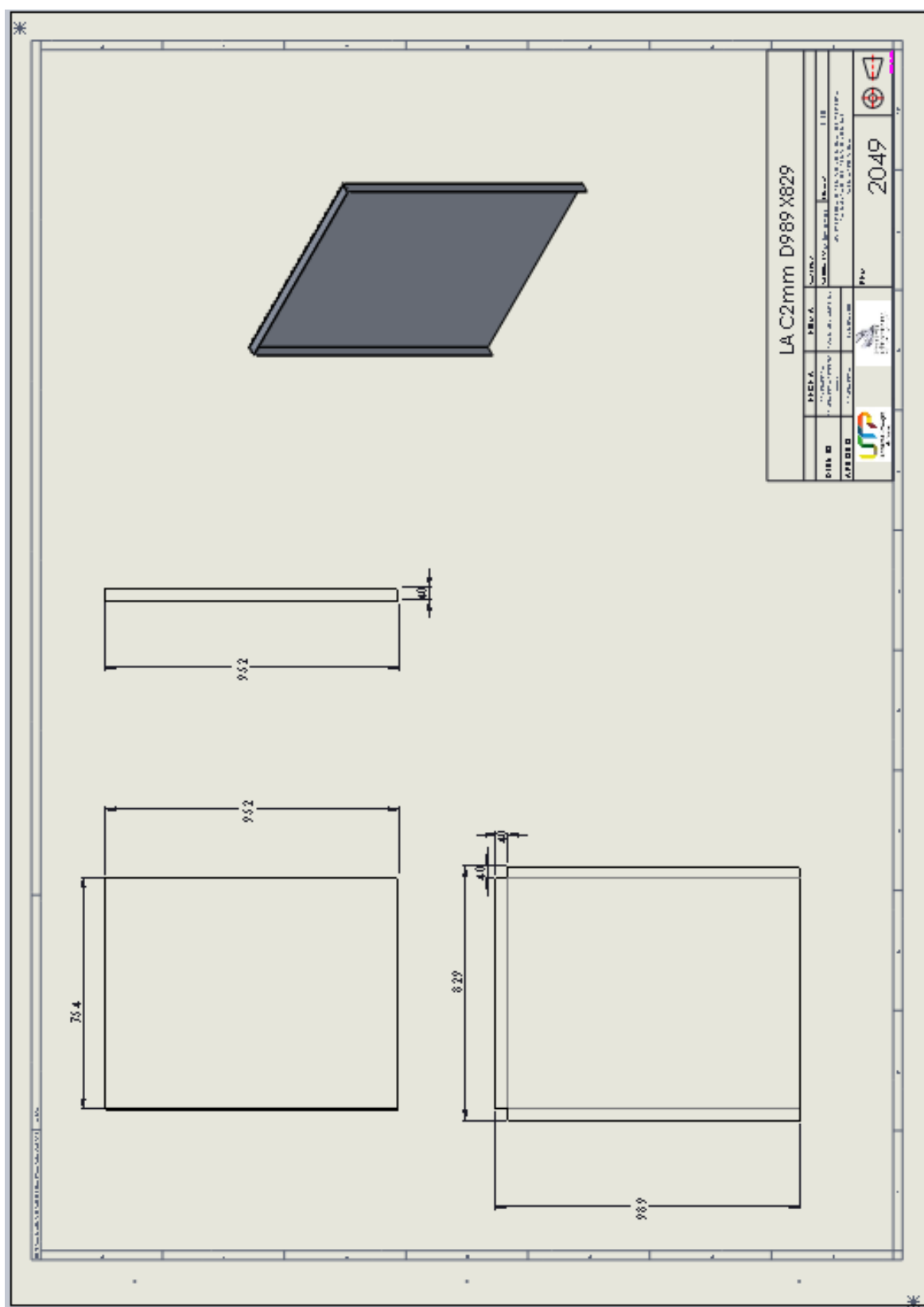
Plano 92: Elemento estructural lateral lado derecho caja protección.



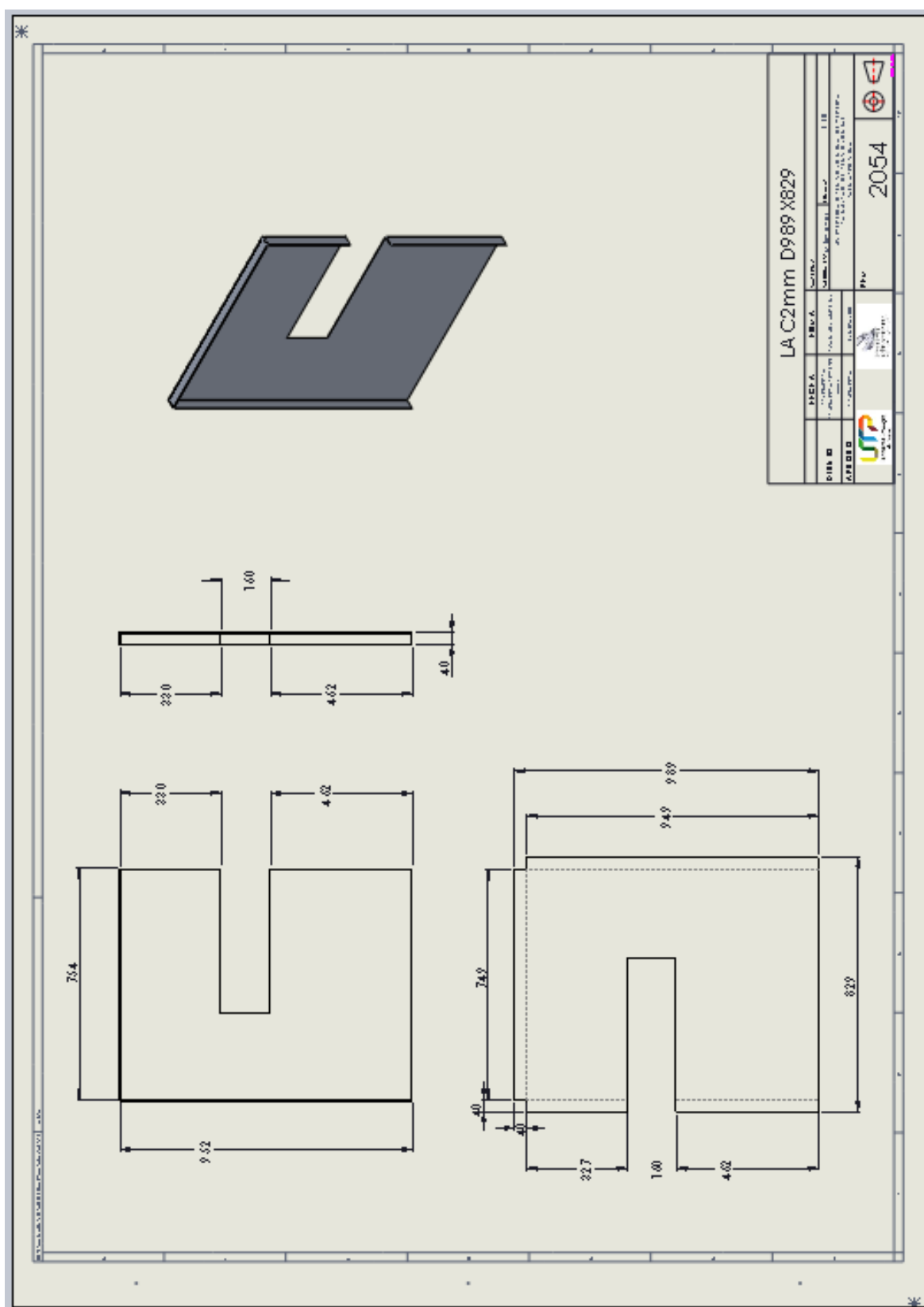
Plano 93: Elemento estructural lateral lado izquierdo caja protección.



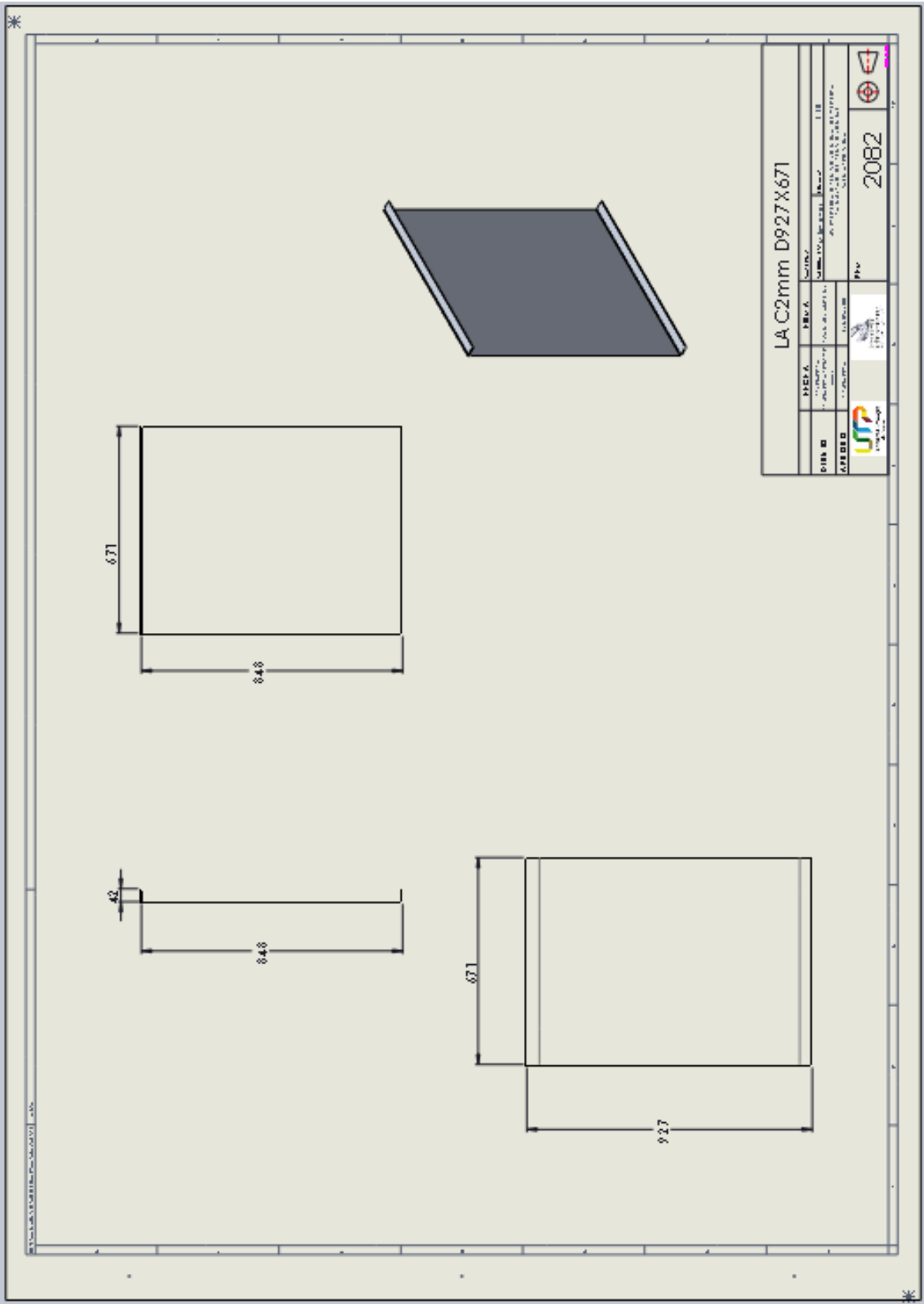
Plano 94: Lamina lateral lado izquierdo caja protección.



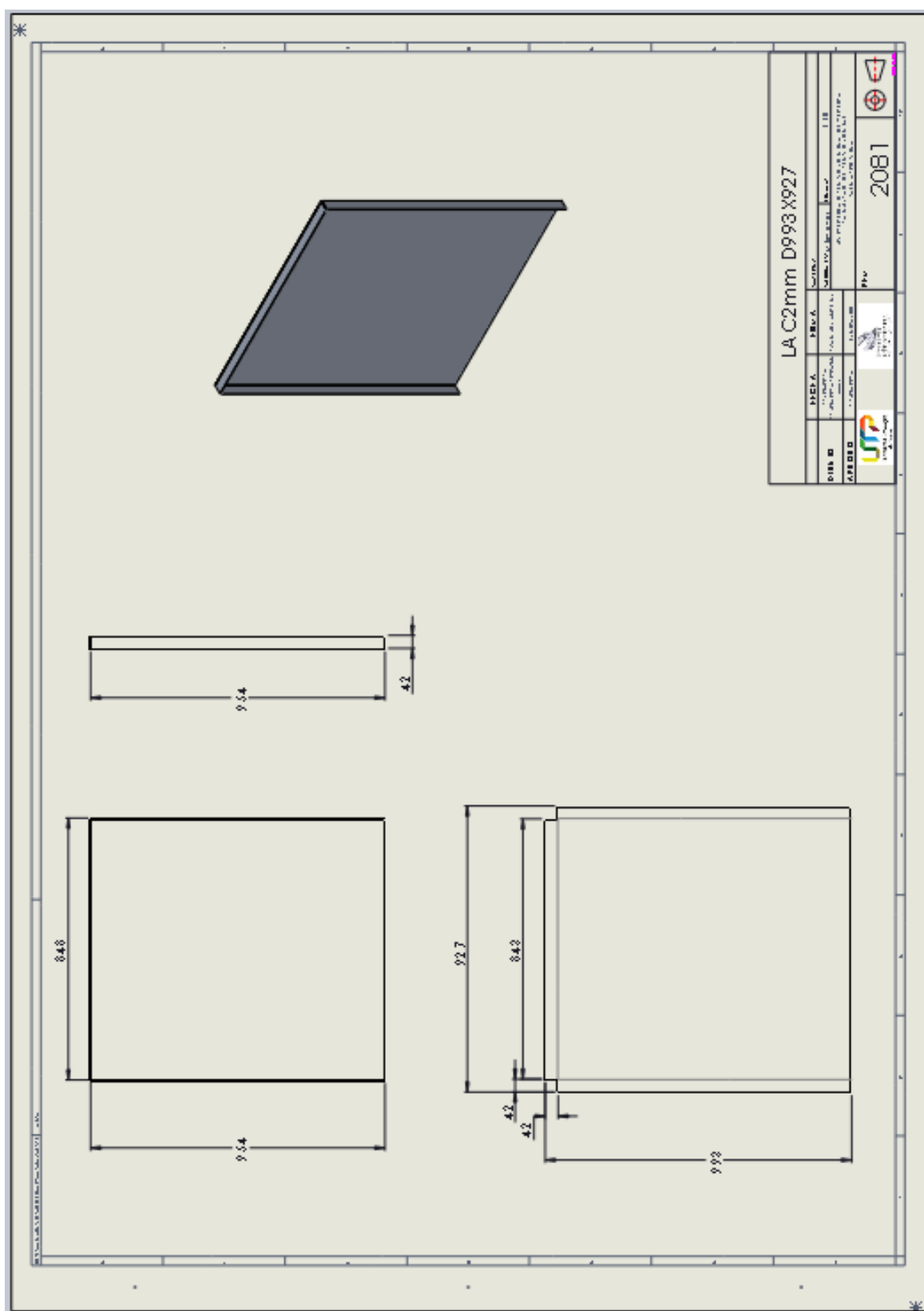
Plano 95: Lamina lateral lado derecho caja protección.



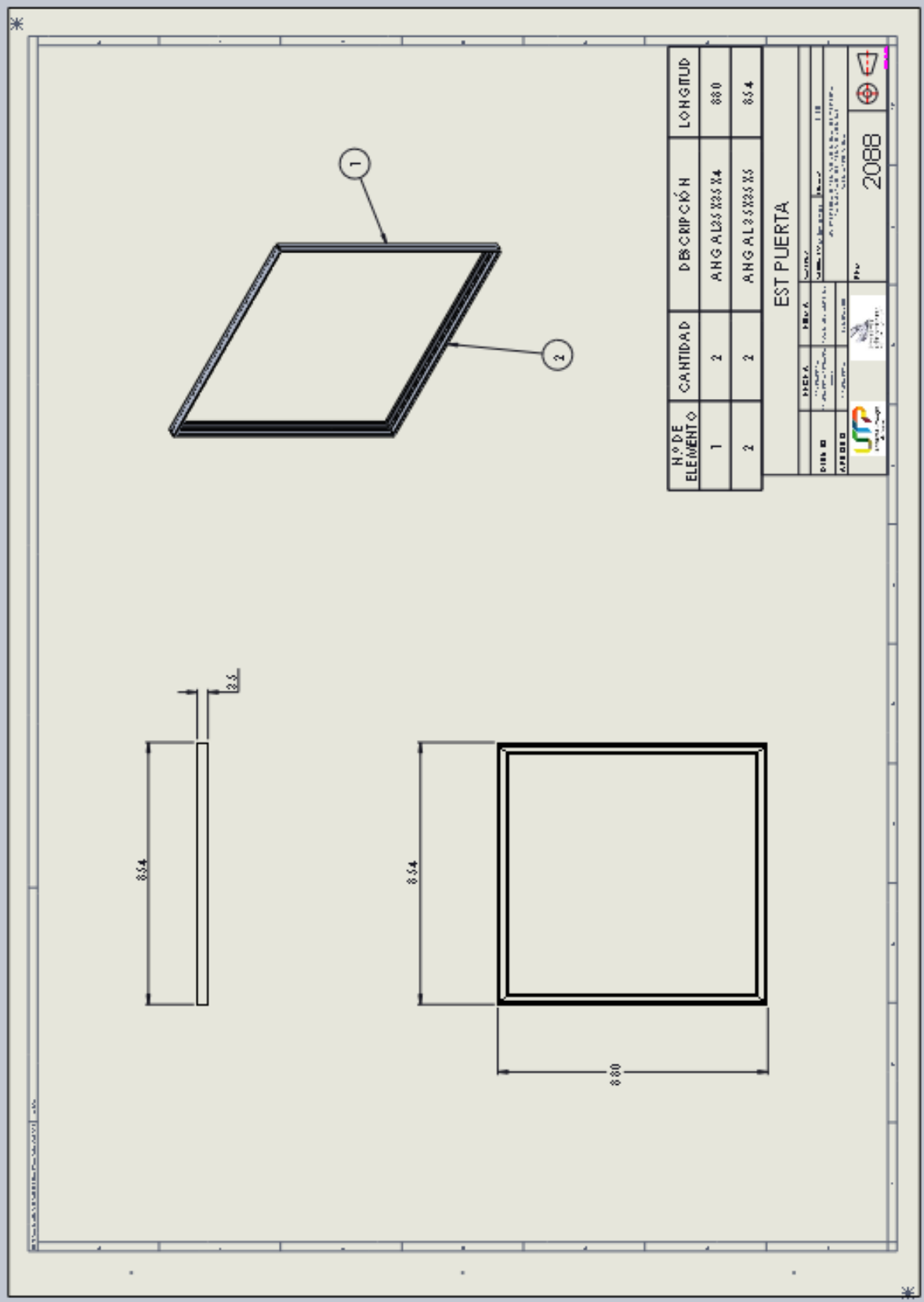
Plano 96: Lamina superior caja protección.



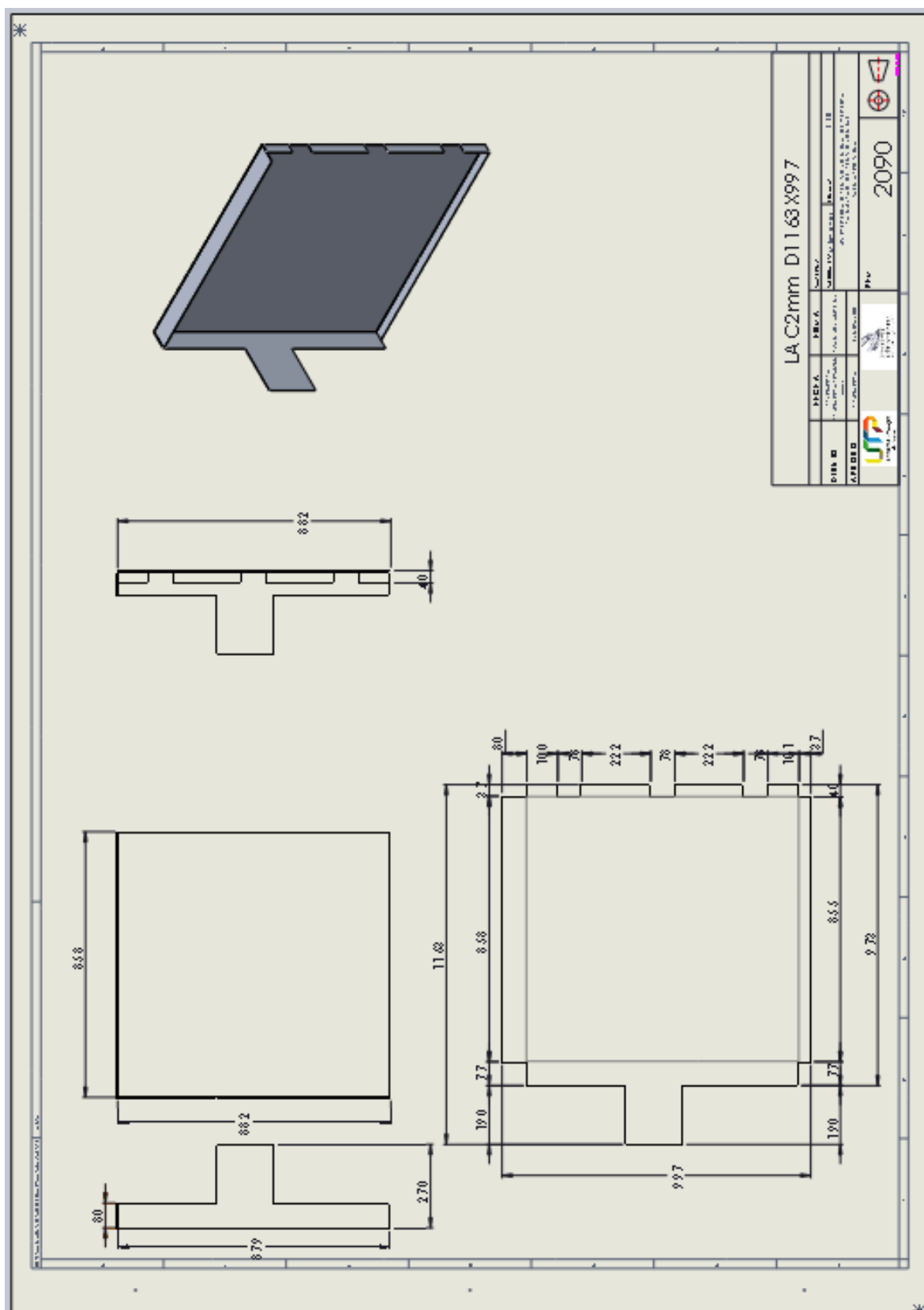
Plano 97: Lamina posterior caja protección.



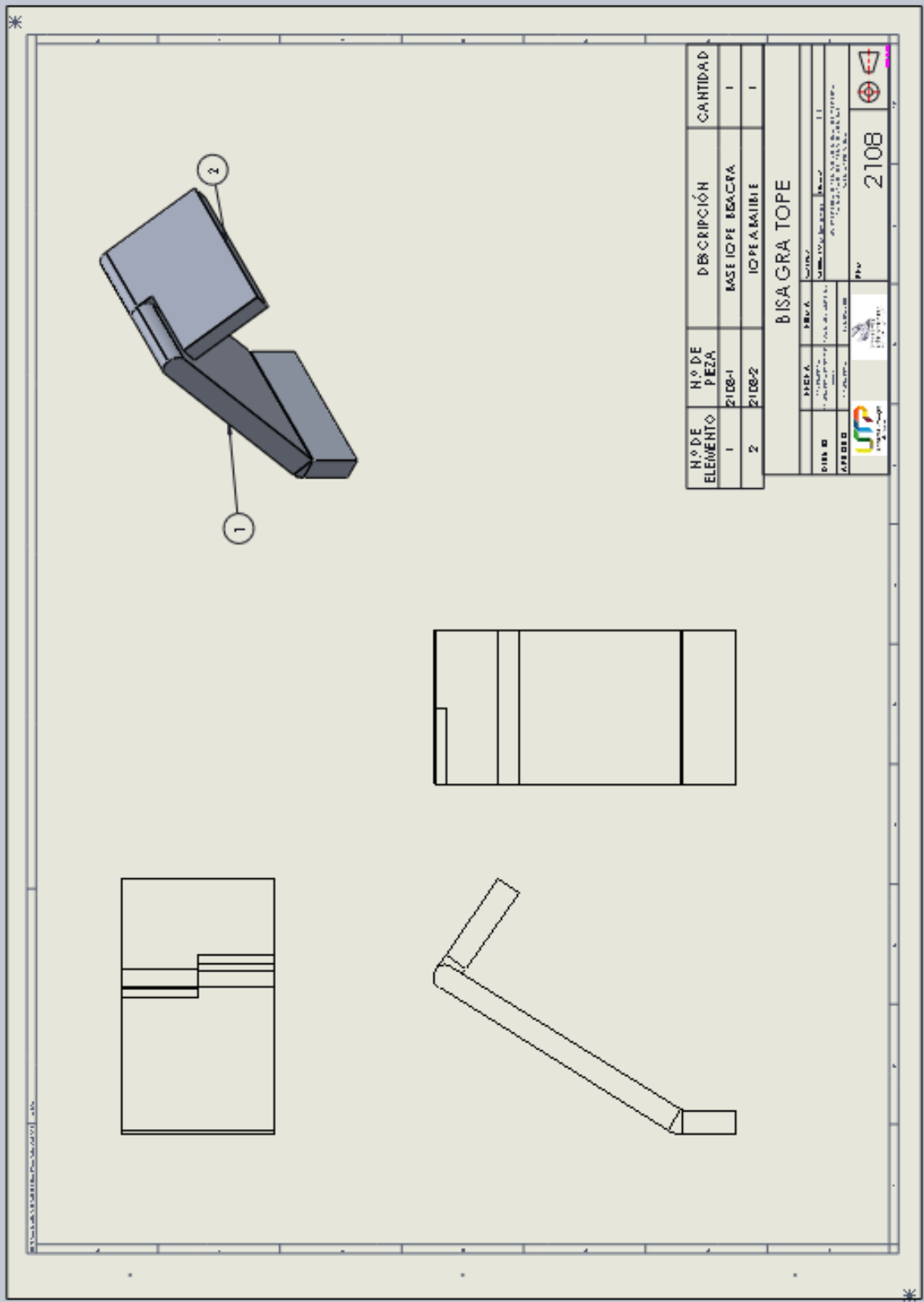
Plano 98: Estructura puerta caja protección.



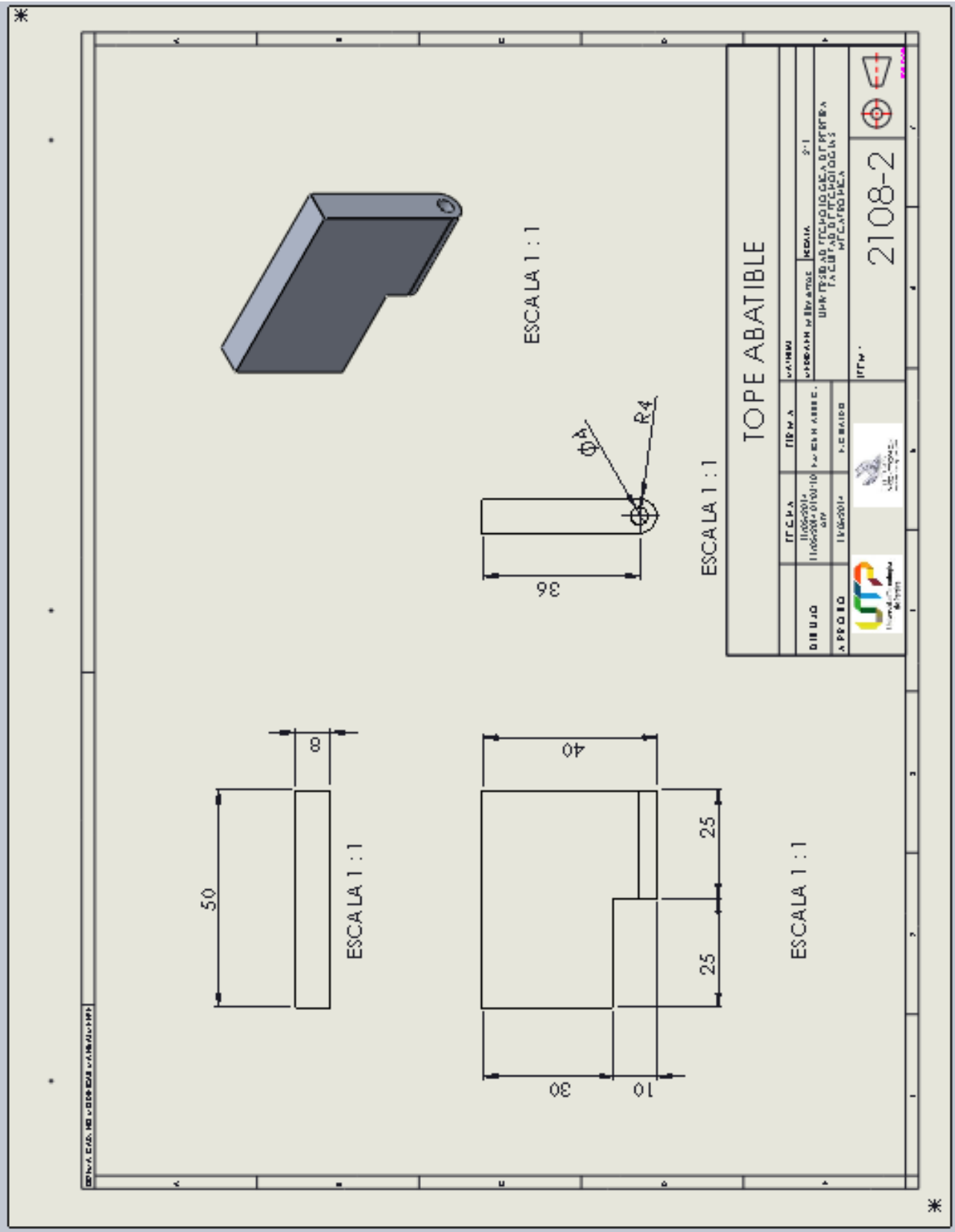
Plano 99: Lamina puerta caja protección.



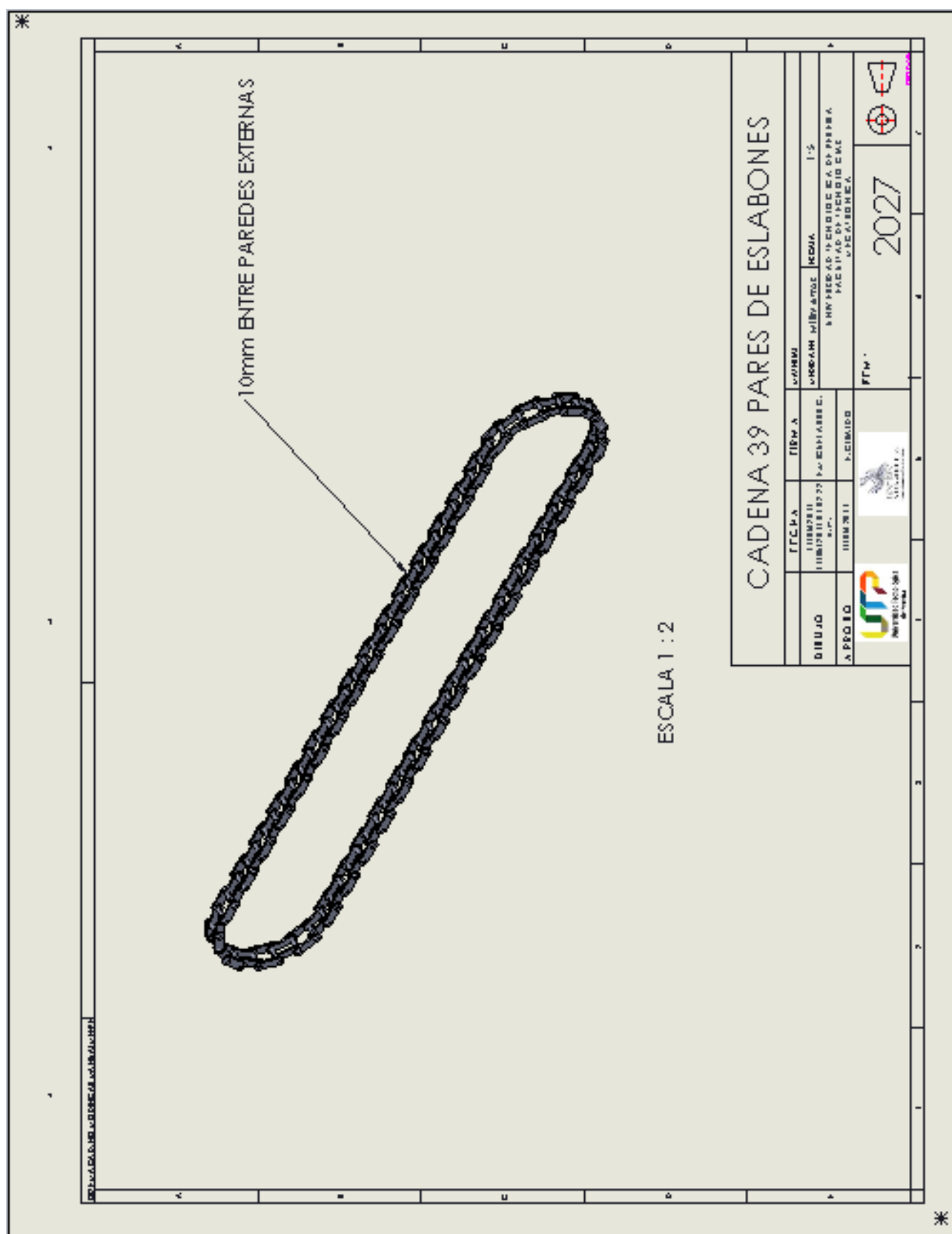
Plano 101: Bisagra tope.



Plano 103: Complemento abatible bisagra tope.

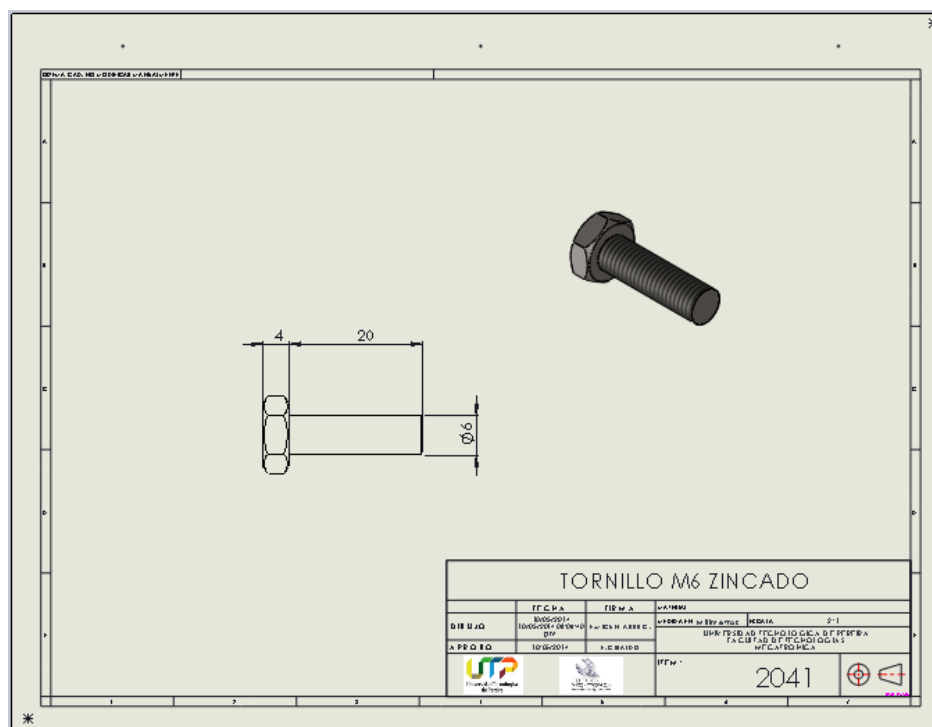


Plano 104: Cadena 39 pares de eslabones.

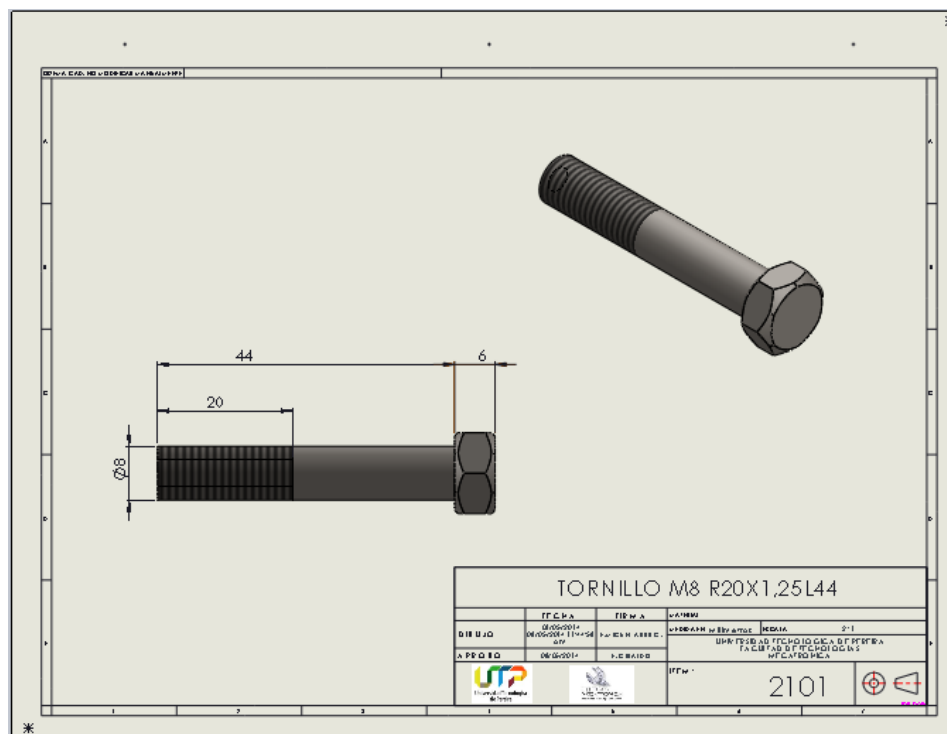


8.2. LIBRO DE JUNTAS

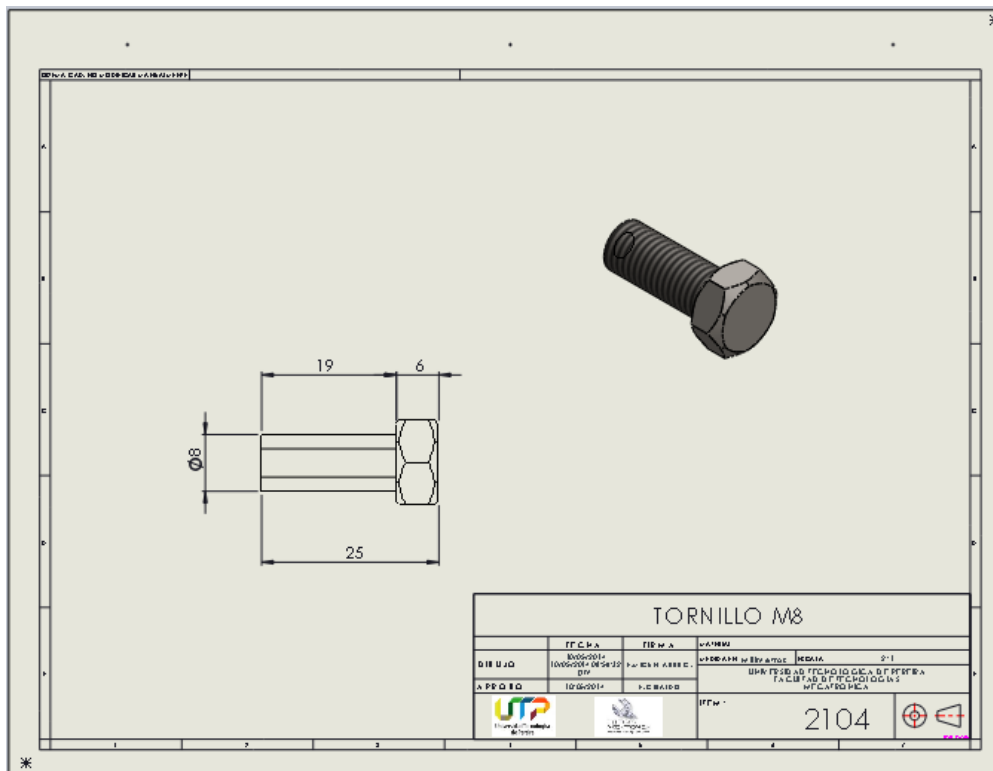
Junta 1: Tornillo M6X24 20x1, 25.



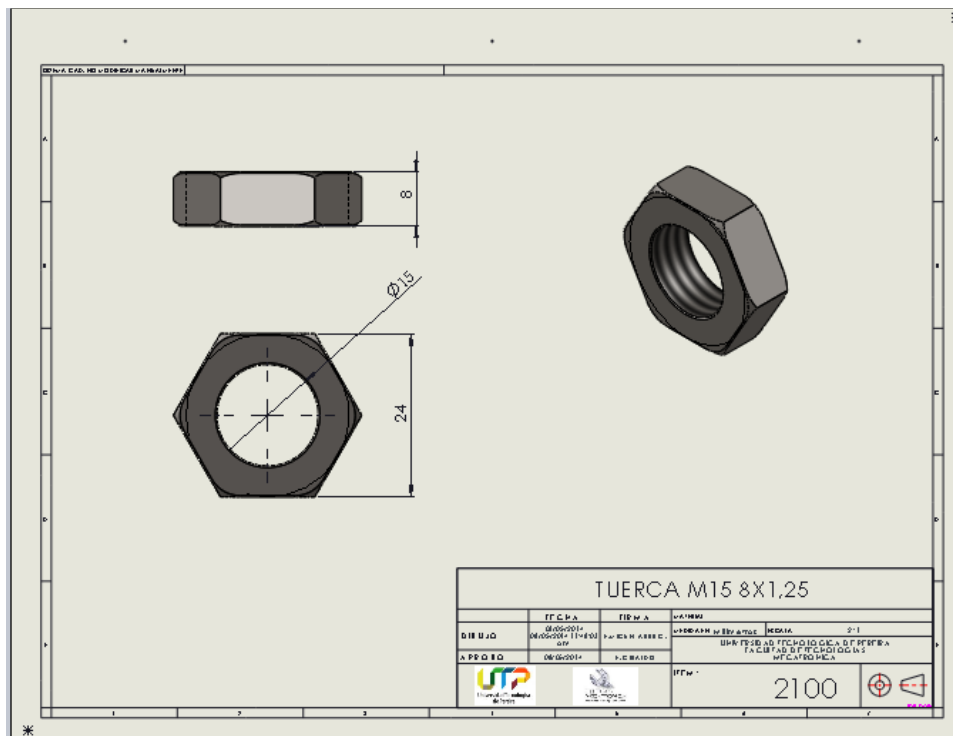
Junta 2: Tornillo M8X50 20x1, 25.



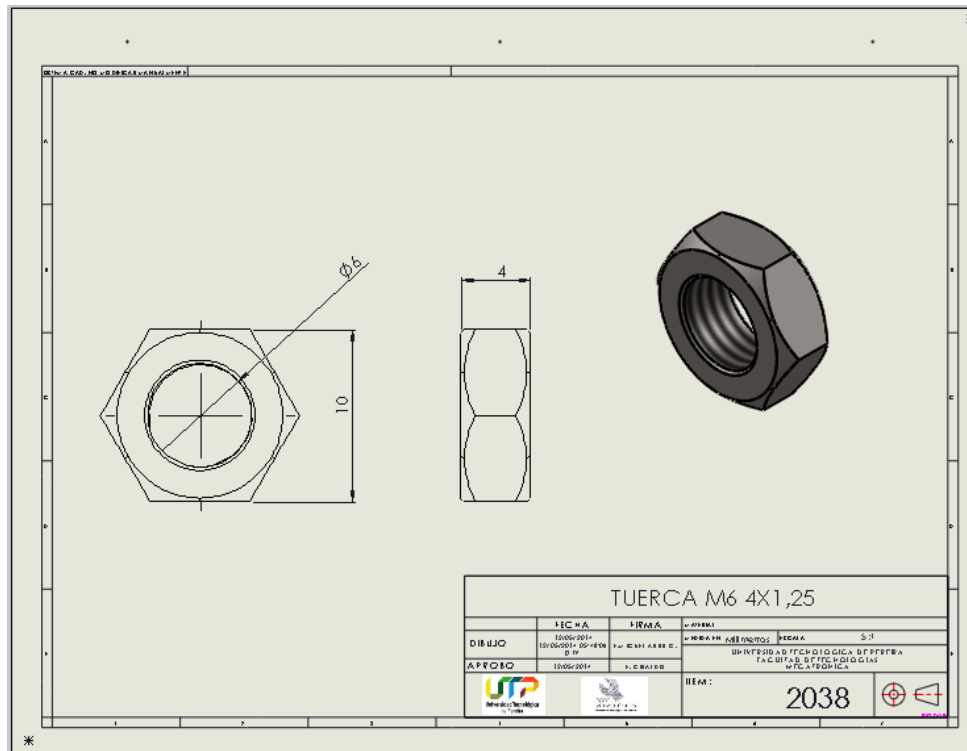
Junta 5: Tornillo M8X25 19x1, 25.



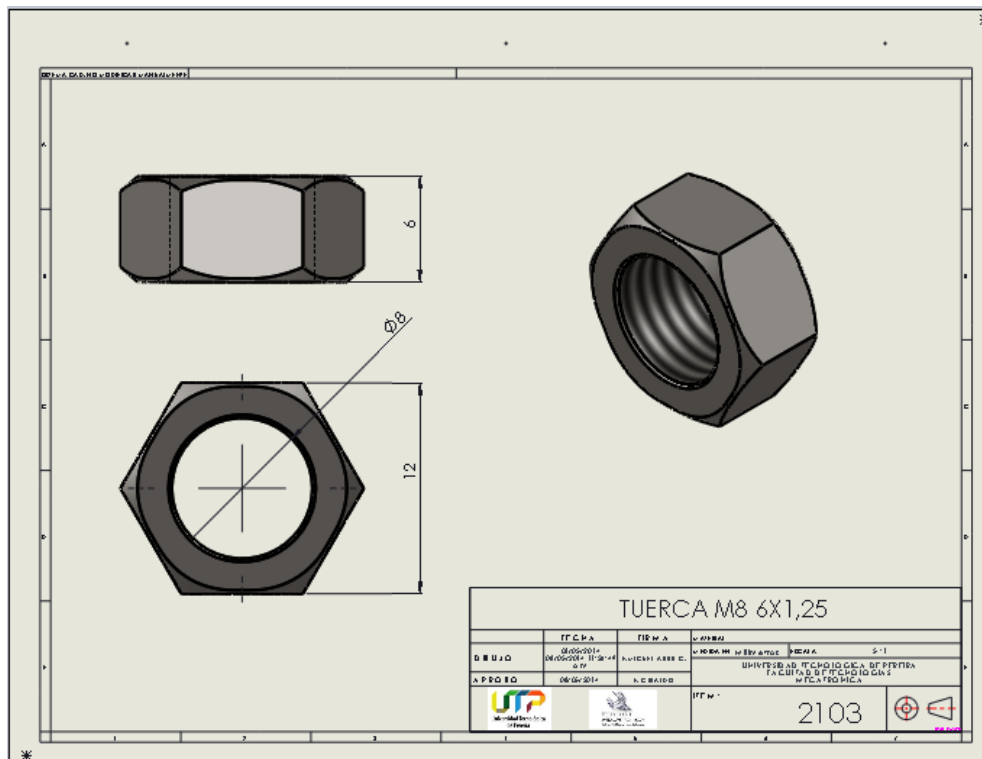
Junta 6: Tuerca M15 8X1, 25.



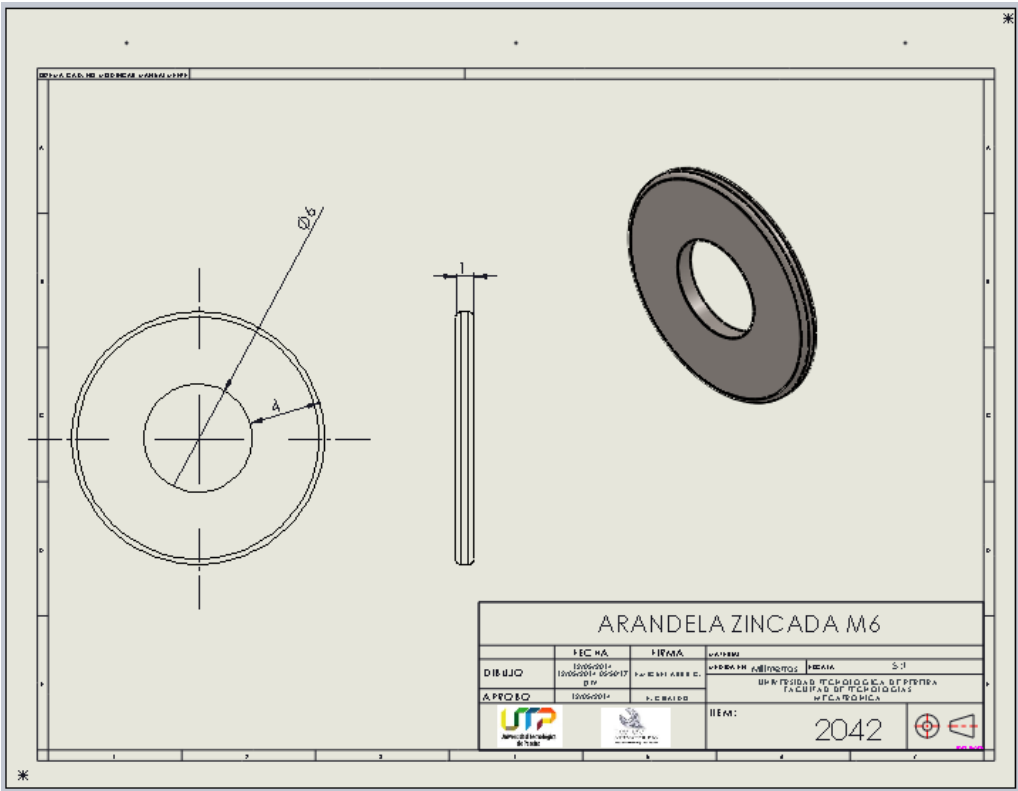
Junta 7: Tuerca M6 4X1, 25.



Junta 8: Tuerca M8 6X1, 25.



Junta 9: Arandela M6.



Junta 10: Arandela M8.

